

N°22 - OCTOBRE 2012 magazine



DOSSIER

Les champs du possible

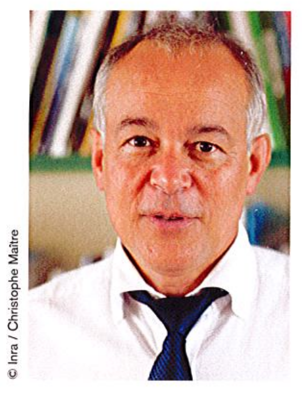
HORIZONS
Le site inra.fr fait peau neuve

RECHERCHES
La génomique au service de l'élevage

REGARD
Marion Guillou et l'Inra, douze ans de vie commune

sommaire

Chers lecteurs,



© Inra / Christophe Maître

Au moment de prendre mes fonctions, je veux tout d'abord saluer Marion Guillou, auprès de qui j'ai eu le plaisir de travailler durant de nombreuses années, et à laquelle j'ai l'honneur de succéder.

En prenant ces fonctions, je prends la tête d'un organisme qui est un acteur majeur de notre système de recherche, reconnu et attendu en France comme dans le monde. Je mesure aussi l'importance des enjeux qui nous concernent : à l'heure où notre planète doit faire face à une conjonction sans précédent de défis et transitions, à la fois nutritionnels, climatiques, écologiques, énergétiques, je souhaite que l'Inra contribue, dans le cadre d'un dialogue accru avec toute la société, à l'émergence de nouveaux systèmes agricoles et alimentaires diversifiés, performants et durables.

Je poursuivrai l'internationalisation de l'Inra, tout en maintenant son engagement déterminant dans l'Europe de la recherche. Dans le respect de ses missions et de son statut, j'impliquerai l'Institut dans les dynamiques nationales et territoriales qui structurent notre système de recherche et d'innovation. Au cœur de ces priorités, je placerai le dialogue et l'interaction avec nos partenaires, avec les acteurs socioprofessionnels et économiques comme avec les associations et avec tous nos concitoyens.

Merci à toutes et à tous pour votre soutien… en attendant de nous retrouver dans nos laboratoires, sur le terrain ou entre partenaires!

François Houllier

François Houllier est nommé Président-Directeur général de l'Inra à compter du 27 juillet 2012.



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
147 rue de l'Université • 75338 Paris Cedex 07
www.inra.fr

Directeur de la publication: François Houllier. **Directeur éditorial**: Jean-François Launay. **Directeur de la rédaction**: Antoine Besse. **Rédactrice en chef**: Pascale Mollier. **Rédaction** : Laurent Cario, Brigitte Cauvin, Lidia Chavinskaia, Michelle Cussenot, Cécile Poulain. **Photothèque** : Jean-Marie Bossennec, Julien Lanson, Christophe Maître. **Couverture** : Photo: © Inra/Cécile Poulain. **Maquette** : Patricia Perrot. **Conception initiale** : Citizen Press - www.citizen-press.fr. **Impression** : Imprimerie CARACTERE. Imprimé sur du papier issu de forêts gérées durablement. **Dépôt légal**: octobre 2012.





Renseignements et abonnement: inramagazine@paris.inra.fr

ISSN: 1958-3923

Agreenium :
porte entre l'enseignement et la recherche et fenêtre sur le monde…

La recherche internationale évolue rapidement, de nouvelles alliances se tissent autour des grands défis que sont l'alimentation mondiale, l'énergie et le changement climatique. L'enseignement doit se nourrir de cette évolution et réciproquement, car les étudiants formés dans cette dynamique feront la recherche de demain ou interagiront avec elle. C'est l'objectif d'Agreenium, qui réunit des instituts de recherche et des écoles supérieures agronomiques autour de projets de formation, de recherche et de développement.

Côté enseignement, Agreenium, c'est « l' Université française en agrobiosciences », comme le résume son directeur Stéphane Guilbert, les agrobiosciences englobant les domaines de l'agriculture, de l'alimentation, de la santé animale et de l'environnement. Donner à l'enseignement agronomique français une visibilité internationale, être en mesure de construire des formations avec d'autres pays, telles sont les perspectives d'Agreenium, qui propose des dispositifs spécifiques tout au long du cursus des futurs chercheurs.

L3 (bac + 3)

Master (bac + 5)

Un **portail bilingue** répertorie l'offre de masters en agrobiosciences : 79 masters nationaux + 8 masters européens Erasmus Mundus
http://formations.agreenium.org

Doctorat (bac + 8)

• **EIR-A :** Ecole internationale de recherche-Agreenium
EIR-A propose - en partenariat avec 15 Ecoles doctorales - un complément à la formation comprenant : 2 séminaires + 1 expérience de 3 mois minimum à l'étranger + le suivi du parcours par un scientifique référent + le label Agreenium en fin de doctorat.

• **AgTraIn :** Agricultural transformation by innovation.
Sous le label Erasmus Mundus, dix sujets de thèses sont proposés avec une bourse de 3 ans (2011-2013), et avec, pour chaque sujet : deux établissements d'inscription européens, associés avec un pays du Sud.

Exemple de sujet : Dynamique de l'innovation : marché du *citrus* et de l'olive en Tunisie. (Montpellier SupAgro et Wageningen University).

Post-Doctorat

Le programme européen **AgreenSkills** (2012-2016) favorise la mobilité internationale de jeunes chercheurs confirmés (1 à 6 ans après le doctorat), de tous pays et de toutes disciplines, en proposant 142 bourses de mobilité entrante (vers un laboratoire d'un membre d'Agreenium) ou sortante (vers un laboratoire à l'étranger), d'une durée de 6 à 24 mois. Ce programme est fortement sélectif et s'appuie sur des expertises internationales.
Cofinancé par la CE dans le cadre du programme COFUND du 7ᵉ PCRD.
www.agreenskills.eu

Côté recherche, en bref, Agreenium renforce les actions internationales portées par l'Inra et le Cirad et en développe d'autres plus spécifiques. Par exemple, la construction de programmes pour le Bassin méditerranéen, avec des priorités sur la gestion de l'eau, la protection intégrée, les maladies émergentes, l'élevage des petits ruminants… ou encore l'aide à la reconstruction du système de recherche et de formation en Haïti après le séisme de 2010.

Agreenium est un consortium, créé en 2009, regroupant à l'origine six membres fondateurs sous un statut d'EPCS (Etablissement public de coopération scientifique), doté d'un conseil d'administration, d'un conseil d'orientation stratégique, et d'une équipe de direction située au siège de l'Inra à Paris.
Membres fondateurs : Inra, Cirad, AgroParisTech, Agrocampus Ouest, Montpellier SupAgro, INP-Ecole nationale vétérinaire de Toulouse, élargi en juin 2011 à l'INP-Toulouse et, depuis juin 2012 à AgroSup Dijon. Membre associé depuis juin 2012 : Bordeaux Sciences Agro.
Agreenium bénéficie de l'ensemble du dispositif de recherche et d'enseignement de ses membres, à savoir :
• 12 000 personnes dont 6 200 chercheurs, ingénieurs et enseignants-chercheurs
• Un dispositif de 300 unités de recherche « labellisées AERES » (Inra et Cirad)
• 6 campus conjoints de formation et de recherche : Paris, Rennes-Angers, Montpellier, Toulouse, Dijon et Bordeaux.
Agreenium assure et accueille :
• Plus de 80 formations de Master, dont une dizaine de parcours européens (5 000 étudiants)
• 2 000 doctorants
• Une vingtaine de représentations communes à l'étranger, notamment en Chine, au Brésil, en Afrique et en Asie du sud.

+d'infos
www.agreenium.org

Pascale Mollier

Le site inra.fr

Le site inra.fr s'offre une refonte en profondeur pour le début de l'année. Au programme : une meilleure ergonomie, davantage de services centralisés et des traitements éditoriaux diversifiés des grands enjeux de la recherche agronomique dans lesquels s'implique l'Institut.

Une entrée par public

Le portail d'actualités se décline désormais en trois canaux, chacun s'adressant à un lectorat particulier. Le canal Découverte est destiné au grand public, c'est-à-dire un lectorat concerné par les problématiques de l'Inra mais sans bagage scientifique particulier. Le ton des articles se rapproche de la presse magazine et les termes scientifiques y sont systématiquement expliqués. Le canal Professionnels s'adresse plus particulièrement aux partenaires socio-économiques et le canal Science au public scientifique.

Des thématiques clairement identifiées

Les canaux d'actualité se structurent en rubriques thématiques afin de présenter de façon synthétique les principaux sujets de recherche de l'Inra. D'un coup d'œil, le visiteur comprend sur quoi travaille l'Inra. Selon les cibles, ces thématiques changent, mais elles restent étroitement liées par le jeu de la navigation transversale et des remontées dynamiques d'articles.



* Maquette présentée a

Sept ans après sa dernière refonte, le site inra s'offre pour 2013 une mise à jour majeure. Palette de couleurs rafraîchie, médias variés, textes plus lisibles, meilleure structuration des informations, nouvelles rubriques… L'Inra présente un site qui se coule désormais dans les canons de l'ergonomie actuelle. Mais cette refonte dépasse largement la simple cosmétique. La forme et le fond, étroitement liés dans le monde digital, ont été repensés en profondeur dans cette nouvelle version.
La perception de la science n'a cessé d'évoluer. Le savoir n'est plus un domaine hermétique réservé à un petit nombre de spécialistes. Les disciplines se mélangent, prennent en compte les enjeux de société et l'opinion du citoyen. Le nouveau site portail de l'Inra traduit cette évolution en s'ouvrant davantage au grand public, par une offre éditoriale, une architecture de l'information et des fonctionnalités repensées, mieux organisées et plus accessibles.

Au service de l'internaute

En proposant des entrées par cible et par problématique de recherche, ce nouveau site est structuré autour des questions que le visiteur se pose, des sujets qui l'inquiète ou le passionne. inra.fr veut dépasser ainsi le statut de site institutionnel pour devenir un véritable portail d'actualités agronomiques édité par l'Institut, un site de référence sur des sujets aussi universels que la sécurité alimentaire, la santé, le changement climatique ou la préservation de la biodiversité.
Depuis la dernière refonte de 2006, les usages d'Internet et les habitudes des internautes ont considérablement changé. Le web est devenu la source essentielle d'information chez une part croissante de la population, l'offre des fournisseurs de contenus s'est considérablement développée. Le baromètre 2012 de confiance dans les médias, publié par le quotidien La Croix, indique que les Français s'informent autant sur Internet que par la presse écrite et aussi, pour la première fois, que le web bénéficie d'une cote de confiance plus grande. Le site inra.fr proposera des contenus nouveaux, diversifiés en ton et en traitement (brèves, mini-dossiers, animations en complément des articles et dossiers actuels) avec des mises en ligne plus fréquentes pour suivre en temps réel l'actualité de la recherche avec toujours la volonté de donner la parole à ceux qui font la science d'aujourd'hui. Tout en conservant le lectorat du site actuel (partenaires, scientifiques et journalistes), il s'agit d'attirer, par la qualité du traitement et la primeur des informations, un nouveau lectorat - le grand public - qui s'informait jusqu'à présent par d'autres sources (magazine, presse quotidienne).

Faire connaître et se faire connaître

Adossé à ce versant de portail d'actualités, le site offre une présentation institutionnelle totalement refondue. Un site « Emploi » complet fait son apparition : pour la

fait peau neuve



…ux textes standard en latin.

Tous les espaces accessibles d'un clic

La refonte du web dépasse le portail d'actus et le site institutionnel. Le site Presse est également rénové tout comme les sites de centres et de départements. Les sites de métaprogrammes scientifiques font leur apparition ainsi que les blogs de chercheurs et une médiathèque complète comprenant photos, vidéos et documents. Tous ces contenus sont désormais accessibles *via* l'« Inra barre », présente en haut de toutes les pages du site, facilitant ainsi la navigation transversale.

Des contenus diversifiés

Selon la « chaleur » de l'information à présenter, la forme du contenu change. Les sujets d'actualités les plus récents sont traités sous forme de brèves ou d'articles tandis que les synthèses « à froid » apparaissent sous forme de dossiers thématiques de plusieurs pages. Des magazines, structurés autour de vidéos ou de diaporamas, permettent une approche très visuelle d'un thème de recherche.

première fois, toutes les offres d'emploi temporaires proposées à l'Inra (stages, thèses, post-docs…) mais aussi les campagnes de recrutement se retrouvent centralisées, rendant leur accès beaucoup plus aisé. Ce site Emploi bénéficie d'une présentation éditoriale elle aussi totalement renouvelée afin de mieux accompagner le candidat dans ses démarches. Et enfin, pour mieux faire connaître l'Inra aux internautes, la vitrine institutionnelle a été rénovée. Là encore, il s'agit de rendre immédiatement visibles les différentes facettes de l'Inra : son histoire, ses temps forts, sa structuration.
Rendez-vous sur inra.fr en début 2013 pour tester tous ces changements !

Antoine Besse

Petit pois contre charançons



SILOS D'UNE UNITÉ de collecte de grains.

© Inra / Jean-Marie Bossennec

Des chercheurs du laboratoire « Biologie fonctionnelle, Insectes et Interactions », unité mixte Inra-Insa à Lyon, ont élucidé un mécanisme de toxicité par voie digestive chez certains insectes, permettant d'ouvrir des perspectives de lutte contre les charançons ou les moustiques. Ce résultat prend place dans une recherche conduite sur une protéine extraite de la graine de petit pois, insecticide biologique d'origine végétale connu depuis quelques années.

L'emploi d'insecticides de synthèse, moyen extrêmement efficace, est de plus en plus contesté alors même que les méthodes alternatives sont difficiles à mettre en œuvre dans des conditions économiques ou pédoclimatiques données. Employer une protéine extraite de pois (*Pisum sativum*) comme produit insecticide est une voie prometteuse dont l'exploration se poursuit.

Manger… être mangé

Un insecte ne consomme pas les plantes qui contiennent ou sécrètent des composés chimiques qui le repoussent, voire l'intoxiquent. C'est un principe empiriquement mis en œuvre lorsque l'homme utilise ou sélectionne des plantes qui ont développé, en elles-mêmes, une faculté de résistance à un ravageur. Ces substances actives servent également les pratiques traditionnelles basées sur la connaissance des plantes et l'observation des insectes : par exemple, associer une plante qui en protège une autre contre un insecte par sa simple présence en proximité ou utiliser des décoctions de plantes. Comment reconnaître et développer des toxines d'origine naturelle capables de contrôler des pullulations d'insectes ? Car le produit élaboré doit remplir une double condition : être épandu sans risque et traiter avec efficacité des insectes dont les dégâts sont reconnus comme majeurs. Les moustiques, notamment en pays chauds, et les insectes des graines, difficilement décelés, ainsi que certains pucerons, sont les trois cibles atteintes dans le cas de ce travail de recherche.

Les chercheurs de Lyon, spécialistes de relations entre plantes et insectes, étudient certaines substances les empêchant de s'alimenter correctement. Ils analysent également quels mécanismes sont en jeu lorsque des plantes cultivées résistent naturellement aux attaques. Il y a quelques années, ils ont identifié une protéine extraite de la graine de pois, une albumine appelée PA1b, pour sa propriété insecticide (1). Pour Frédéric Gressent, chercheur du laboratoire, « *cette protéine a les mêmes potentialités que la toxine de* Bacillus thuringiensis *actuellement employée sous forme d'insecticide biologique ou de plantes transgéniques résistantes à des insectes. PA1b présente l'avantage supplémentaire de dériver de graines de légumineuses cultivées un peu partout sur la planète. Cependant, il était primordial de comprendre le mécanisme de sa toxicité, pour moduler son efficacité ou prévenir l'apparition de phénomènes de résistance des insectes si cette molécule est épandue au champ* ».

Une faim d'…insecte

Ainsi, l'équipe de Lyon vient d'élucider le mode d'action de la protéine PA1b (2) : lorsque l'insecte l'ingère, elle se fixe sur une protéine de l'intestin, la V-ATPase, et inhibe son action. Or, la V-ATPase acidifie le tube digestif, apporte de l'énergie à la digestion, et favorise l'absorption des nutriments par le tube digestif. Si cette fonction est dégradée, l'insecte meurt de faim. Les résultats obtenus ont permis d'expliquer la toxicité de la protéine PA1b, et d'orienter vers de nouveaux essais pour cibler plus précisément cette inhibition de l'activité de la V-ATPase.

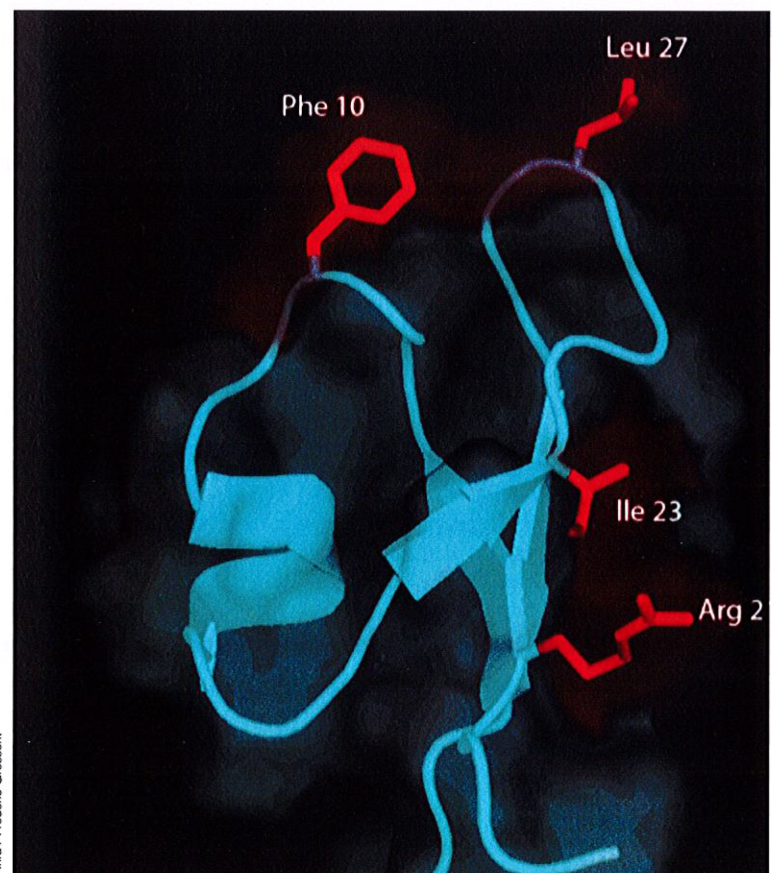
Parmi les questions fondamentales explorées depuis la découverte de la fonction insecticide, le laboratoire a déterminé la structure de la protéine et localisé ses parties actives. PA1b serait présente dans les feuilles des légumineuses mais à des doses non létales pour les insectes. En effet, le puceron se nourrit de sève en piquant les feuilles mais sans vraiment les consommer. Les essais effectués en laboratoire avec la protéine seule ont montré qu'elle est très active contre les charançons des céréales -*Sitophilus granariae, oryzae, zeamais*- , contre les larves de moustiques (des genres *Culex* et *Aedes*) et des pucerons. Par contre, contre les blattes, les tests se sont révélés décevants. L'un des objectifs de ces études peut être d'insérer le gène de la toxine directement dans certaines espèces de plantes pour les rendre résistantes ou tolérantes aux insectes, par exemple le riz, mais la protéine est peu exprimée pour l'instant. Une autre voie consiste à optimiser la séquence de la protéine pour la rendre toxique à des doses plus faibles. La protéine PA1b est bien le principal facteur de résistance des Fabacées (anciennement les Légumineuses) aux insectes et il est donc souhaitable de poursuivre dans cette voie, par le développement de recherches plus finalisées.



CHARANÇON DU MAÏS, *Sitophilus zeamais.*

Des partenariats sont en cours avec des sociétés pour extraire et purifier la protéine, ainsi qu'avec des acteurs de terrain pour des essais en serres, en champ ou en milieu aquatique. Dans un premier temps, ces nouvelles données expérimentales permettraient de progresser vers des traitements directs : dans les silos, contre les insectes qui déprécient ou détruisent des récoltes ; par épandage en champ sur des cultures à protéger ; et contre les moustiques. En parallèle, des essais de construction de plantes transgéniques sont en cours. Cependant, la mise au point de méthodes biologiques est longue, le passage vers les conditions réelles d'emploi nécessite souvent des expérimentations complémentaires, avant même que la molécule soit intégrée à une préparation commerciale en tant que bioinsecticide ou dans des semences nouvelles.

Brigitte Cauvin



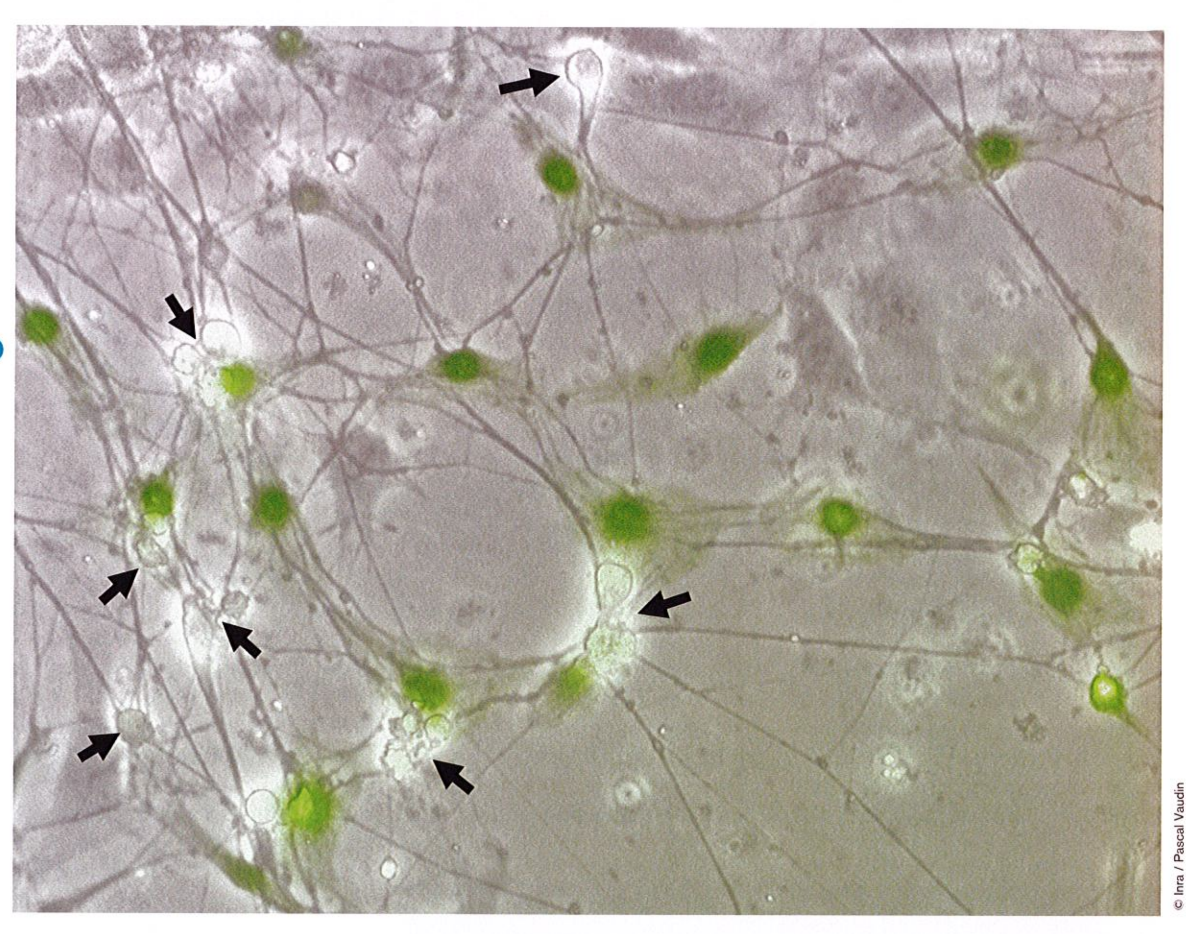
MOLÉCULE DE TOXINE PA1b, en représentation modélisée. En rouge, les parties identifiées pour leur activité insecticide.

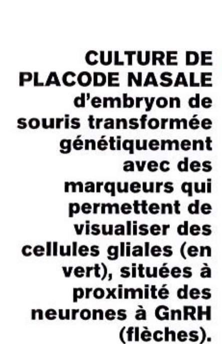
(1) L'unité de recherche a déposé un brevet en 1999 sur la propriété insecticide de la protéine de pois.

(2) Christophe Chouabe, Vanessa Eyraud, Pedro Da Silva, Isabelle Rahioui, Corinne Royer, Christophe Soulage, Robert Bonvallet, Markus Huss, and Frédéric Gressent.
New mode of action for a knottin protein bioinsecticide. Pea albumin 1 subunit b (PA1b) is the first peptidic inibitor of V-ATPase. *The Journal of Biological Chemistry*, vol. 286, N°42, pp.36291-36296, October 21, 2011.

+d'infos
contact :
frederic.gressent@lyon.inra.fr

Neurones *in vitro*





CULTURE DE PLACODE NASALE d'embryon de souris transformée génétiquement avec des marqueurs qui permettent de visualiser des cellules gliales (en vert), situées à proximité des neurones à GnRH (flèches).

Delphine Pillon et Pascal Vaudin, enseignants-chercheurs à l'Inra de Tours, ont récemment mis en évidence l'influence de perturbateurs endocriniens sur le développement neuronal. Leur équipe élabore actuellement un test *in vitro* pour mieux étudier l'effet de ces molécules. Interview de ces deux chercheurs.

Quelles informations nouvelles apportent vos travaux sur les neurones à GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone) ?

Delphine Pillon : Jusqu'à présent, les résultats publiés concernaient essentiellement les effets des perturbateurs endocriniens sur la production de spermatozoïdes ou sur l'appareil génital mâle, avec la description de malformations de type cryptorchidie (1) et hypospadias (2).
Nos travaux montrent que ces molécules ont aussi des effets sur les systèmes neuroendocrines qui contrôlent la fonction de reproduction. Nous nous sommes intéressés en particulier aux effets de l'Ethynilœstradiol (3), le principal œstrogène des pilules contraceptives, sur le système à GnRH.

Quelle est l'importance de ce système ?

D.P. : La GnRH est une hormone synthétisée et sécrétée par un groupe de neurones localisés dans l'hypothalamus. Cette sécrétion dépend de nombreux paramètres : niveau des stéroïdes sexuels, photopériode, phéromones, etc... La GnRH contrôle la sécrétion par l'hypophyse des hormones gonadotropes LH et FSH qui agissent à leur tour sur les ovaires et les testicules, pour moduler la production des gamètes et des hormones sexuelles, parmi lesquelles l'œstradiol et la progestérone chez la femelle et la testostérone chez le mâle.

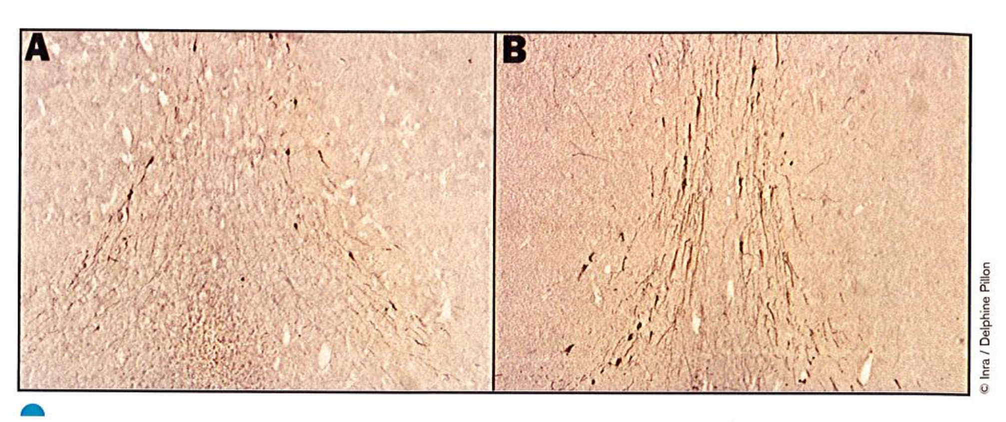
Quel est l'impact des perturbateurs endocriniens sur ces neurones à GnRH ?

D.P. : Quand on expose des souris à l'Ethinylœstradiol pendant la vie embryonnaire et postnatale jusqu'à la puberté, on observe chez l'adulte un nombre supérieur de neurones à GnRH par rapport aux individus contrôles. Cela s'accompagne chez le mâle d'un comportement sexuel exacerbé, et ce, sur plusieurs générations, sans conséquence sur la fertilité.
Par contre, on ne sait pas si les perturbateurs endocriniens agissent directement sur les neurones à GnRH, ou si d'autres types cellulaires relaient cet effet.

Comment étudiez-vous les neurones à GnRH expérimentalement ?

D.P. : Dans le cerveau adulte, les neurones à GnRH sont dispersés,

peu accessibles et peu nombreux. Ce qui en fait un sujet d'étude difficile. Nous utilisons donc un système de culture *in vitro*. Nous prélevons la placode nasale de l'embryon de souris qui est le lieu de formation des neurones à GnRH avant la migration dans le cerveau. Cette placode est mise en culture et de là dérivent les neurones à GnRH et leur environnement cellulaire, notamment les cellules gliales. Anne Duittoz, dans notre équipe, a mis au point la technique chez le mouton et l'a adaptée chez la souris. La dissection est très délicate car il faut prendre peu de tissu, pour ne pas être contaminé par d'autres types cellulaires. Les analyses prennent du temps car nous récupérons peu de matériel biologique.



L'ETHINYLŒSTRADIOL augmente le nombre de neurones à GnRH dans le cerveau. Les neurones sont détectés par immuno-histochimie, coloration brune.
B : cerveau de souris femelles adultes exposées à l'Ethinylœstradiol pendant leur vie *in utero* et juvénile.
A : cerveau de souris non exposées.

A partir de ces recherches vous souhaitez développer une entreprise prestataire de service en toxicologie ?

Pascal Vaudin : Oui, car notre maîtrise de la culture *in vitro* de ces neurones à GnRH nous permettrait de les utiliser pour réaliser des tests toxicologiques. Notre défi est de passer à l'échelle semi-industrielle pour disposer de systèmes de culture fiables, très reproductibles. Pour cela, il faut obtenir un grand nombre de cellules. Nous pourrons alors tester n'importe quel type de produits chimiques, par exemple pharmaceutiques ou phytosanitaires. Outre la précision des observations, ces systèmes *in vitro* permettront de réduire les prélèvements sur les animaux.

En quoi consiste le test ?

P.V. : Il faut tout d'abord construire des lignées cellulaires, à partir de placodes olfactives, en transformant génétiquement les cellules précurseurs du système GnRH. Une fois ces lignées cellulaires obtenues, nous pourrons élaborer les tests toxicologiques. Nous pourrons aussi regarder par exemple si l'Ethinylœstradiol a un impact sur l'expression de certains gènes des cellules de ce système GnRH. En effet, le perturbateur agit en se fixant sur les récepteurs aux œstrogènes, formant ainsi un facteur de transcription dont la fonction est de réguler l'expression des gènes. On pourra également voir si l'activité des neurones est modifiée par le produit testé.

Quel est l'avenir de vos travaux ?

P.V. : La mise au point de ces lignées cellulaires est doublement motivée, à la fois par le règlement européen Reach et par le fait que l'on ne pourra bientôt plus faire de tests toxicologiques sur animaux vivants. Ces tests pourraient être soumis à l'Ecvam (European Centre for the Validation of Alternative Methods). Le projet de création de lignées cellulaires est soutenu par le Conseil régional de la région Centre. Il a été initié en 2011 pour trois ans en collaboration avec le BRGM (4) et la société Le Net Pathology Consulting à Amboise. ●

Propos recueillis par Laurent Cario

(1) La cryptorchidie est l'absence d'un ou des deux testicules dans le scrotum.
(2) L'hypospadias est une malformation du fœtus masculin, qui se manifeste par l'ouverture de l'urètre dans la face inférieure du pénis au lieu de son extrémité.
(3) L'Éthinylestradiol est un dérivé de synthèse de l'œstradiol. C'est l'œstrogène le plus utilisé au monde, il est présent dans toutes les pilules contraceptives. Il est relargué sous forme très stable dans les urines et s'accumule dans l'environnement depuis une quarantaine d'années. Son traitement dans les stations d'épuration est peu développé. Ces molécules se fixent sur les récepteurs de l'hormone naturelle, prenant sa place et perturbant sa fonction. D'où le terme de perturbateurs endocriniens.
(4) BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans.

Responsabiliser les acteurs du secteur chimique

par Marion Bougine-Renson*

Entré en vigueur le 1er juin 2007, le règlement européen REACH ((CE) n°1907/2006) entend offrir un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement. Pour ce faire, plusieurs actions sont mises en place : l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et la restriction des produits chimiques.
Elles accentuent la responsabilité de divers acteurs du secteur chimique en leur imposant l'évaluation et la gestion des risques inhérents aux produits chimiques. Ceci permet d'accéder à une meilleure information sur le produit et, pour l'Union européenne, de prendre les mesures adéquates, voire supplémentaires, pour les substances dites « préoccupantes » (en particulier : les perturbateurs endocriniens).

* Doctorante en droit privé à l'Université de Limoges, collaboratrice du projet de création d'entreprise prestataire de service en toxicologie.

+d'infos

Ces travaux sont réalisés dans l'équipe Microenvironnement et Dynamique des Réseaux Neuroendocrines (MiDyNNet) de l'unité mixte de recherche « Physiologie de la Reproduction et des Comportements », Inra/CNRS/ Université François Rabelais de Tours/ Institut Français du Cheval et de l'Equitation.

contacts :
Delphine.Pillon@tours.inra.fr
Pascal.Vaudin@tours.inra.fr

La génomique au service de l'élevage



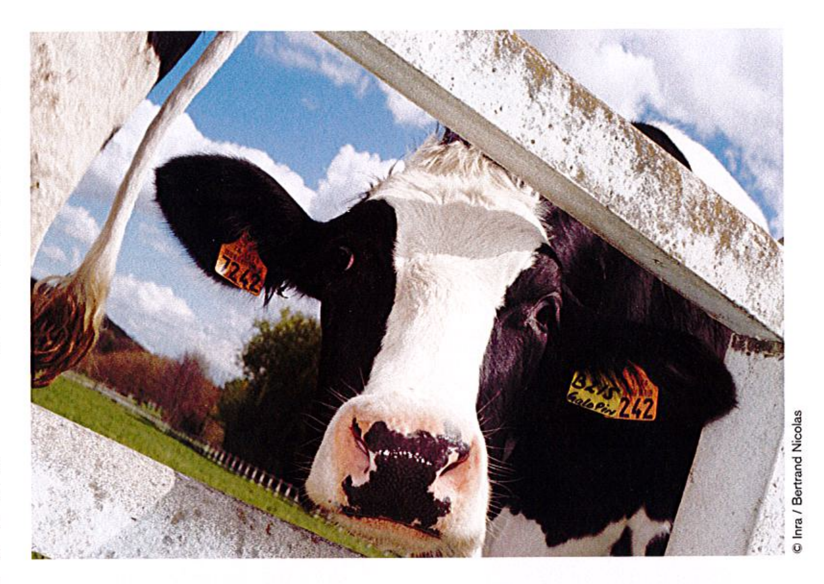
© William Beaucardet

Mutualisant moyens, équipements et expertises entre les équipes de l'Inra, du Cirad et des différentes filières d'élevage françaises, le Gis Agenae s'est lancé depuis dix ans dans la course au séquençage et a développé des outils génomiques de sélection pour des élevages compétitifs et durables.

« *D'une technologie de sélection génomique pressentie comme « prometteuse » en 2001, nous sommes passés en moins de dix ans à la mise en marché des semences du premier taureau choisi grâce à cette technologie ! L'Inra, au même titre que de nombreuses unités de recherche à l'étranger, a vécu une véritable révolution entre 2001 et 2010, une rupture dans ses recherches en génomique mais également chez les professionnels des filières animales. Ensemble, nous avons généré des marges de progrès énormes et sécurisé le passage de l'innovation au marché. Très peu de découvertes en recherche fondamentale ont été appliquées aussi rapidement. L'Inra a été visionnaire en s'y engageant résolument* », explique Christian Huyghe, directeur scientifique adjoint de l'Inra et président du Gis Agenae (Groupement d'intérêt scientifique Analyse du génome des animaux d'élevage). Au début des années 2000, la génomique - telle qu'on la conçoit aujourd'hui -, n'en est qu'à ses prémices : le génome de l'homme et celui de la souris sont séquencés mais ceux des espèces d'élevage ne le sont pas encore. Les travaux consistent alors essentiellement à les cartographier aussi finement que possible et à tirer profit des comparaisons avec celui de l'homme. L'Inra s'implique donc dès les années 2000 dans les séquençages de génomes. Pour mutualiser les moyens, les équipements et les expertises entre les équipes de l'Inra, du Cirad et les différentes filières d'élevage piscicole, bovin, porcin et avicole, le Gis Agenae, est créé en 2002. Il mobilise au total 120 millions d'euros, dont 50 millions apportés par les membres fondateurs du Gis, le ministère, l'Agence nationale de la recherche et l'Europe, et 70 millions par l'Inra.

Avec l'arrivée des technologies de séquençage à haut puis très haut débit, le Gis se lance dans la course au séquençage de la vache, de la poule, du cheval, du cochon, de la chèvre et de la truite. Didier Boichard, directeur de recherche en génétique animale et biologie intégrative, témoigne : « *l'Inra a contribué à plusieurs de ces consortiums internationaux de séquençage et a joué un rôle majeur dans ceux du porc et de la truite. Les chercheurs ont réalisé un travail très important sur l'exploration du génome et l'identification des fragments d'ADN impliqués dans de grandes fonctions agronomiques et a ainsi proposé des outils génomiques pour la sélection des élevages de chèvres et de bovins* ». Cette analyse à haut débit du génome révolutionne la sélection car elle permet de prédire la valeur génétique d'un animal dès la naissance à partir d'un test réalisé à l'aide d'une puce à ADN contenant plusieurs dizaines de milliers de marqueurs, alors qu'auparavant la sélection reposait sur l'observation de ses performances et de celles de sa descendance.

Le nombre de caractères sur lesquels porte cette évaluation génétique s'enrichit progressivement et la précision obtenue est proche de celle que l'on observait pour un taureau à partir de l'enregistrement des performances de plusieurs dizaines de ses filles. Cette révolution permet en outre de préserver la diversité génétique sur l'ensemble du génome qui n'est pas soumis à la sélection.


© Inra / Bertrand Nicolas

Une recherche « action »

Ce consortium a ainsi découvert des gènes ayant un impact majeur sur des caractères d'intérêt économique. Les travaux ont permis d'obtenir des résultats tangibles utilisables par les professionnels, comme l'identification de nouveaux marqueurs biologiques de qualité (viande, gamète) et de gènes importants (syndactylie chez les bovins, conformation chez les ovins de race Texel). Grâce à ces recherches, il a également été possible de comprendre le déterminisme génétique de la fertilité, de la sensibilité aux infections mammaires chez les ruminants et de la sensibilité aux infections chez les poissons et le porc. Les nouveaux marqueurs et gènes découverts enrichiront à court terme les programmes de sélection génomique. Pour Maurice Barbezant, ancien directeur de l'UNCEIA, « *la recherche action s'est impliquée depuis le début, transférant naturellement connaissances et technologies à la filière élevage. On peut aujourd'hui sélectionner les caractères de faible héritabilité, en relation directe avec les besoins sociétaux, comme la qualité de la mamelle, la rusticité de l'animal… On élargit la diversité génétique des élevages, en explorant des familles génétiques auparavant laissées de côté* ».

Des avancées majeures en génomique fonctionnelle

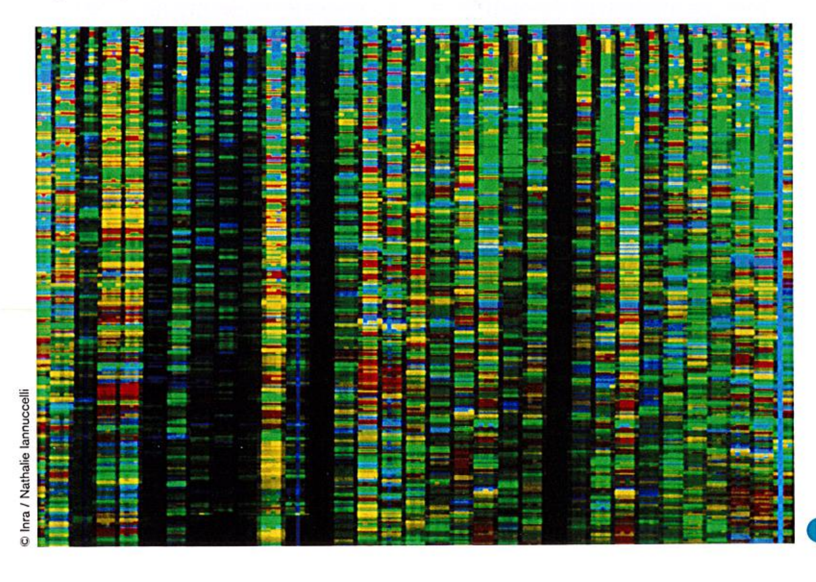
Le Gis Agenae a également investi dans des plates-formes technologiques nationales comme Labogena, au service des biologistes voulant utiliser les technologies à haut débit. Elles ont été bâties avec une volonté d'ouverture afin de servir une large communauté. Dix ans plus tard, cette organisation basée sur des infrastructures nationales de haut débit est largement adoptée dans le monde de la recherche, et relayée par des infrastructures régionales dédiées au transcriptome, au protéome et au métabolome. « *Aujourd'hui, en 2012, l'Inra renforce ses compétences en génomique fonctionnelle. Nous cherchons à expliquer au mieux le fonctionnement des gènes responsables des caractères d'intérêt pour l'élevage. Un défi particulièrement important sera de réaliser le phénotypage le plus fin, précis et exhaustif possible des animaux, afin d'avoir une inférence génotype/phénotype la plus sûre possible, et attribuer au plus grand nombre de caractères des variations génétiques causales. L'appréhension du métabolisme des animaux dans sa globalité à travers la métabolomique sera également une priorité. Dans tous les cas, l'objectif est de tendre vers une biologie prédictive de l'animal, afin d'en déterminer la valeur à travers la mesure de quelques paramètres choisis, le plus tôt au cours de sa vie* », analyse Philippe Monget, directeur d'Agenae.

Le consortium s'ouvre aujourd'hui à l'épigénétique, c'est-à-dire l'étude des modulations de fonctionnement du génome sans modifications du patrimoine génétique. L'épigénétique concerne par exemple l'impact d'un stress nutritionnel d'une femelle gestante sur le métabolisme de la descendance qui a subi ce stress *in utero*. Il s'intéresse également à la nutrigénomique en général, et plus particulièrement à l'impact du microbiote intestinal sur différentes fonctions comme la digestion ou le système immunitaire. Ce champ s'ouvre en 2012 avec l'abaissement des coûts de séquençage qui permet d'identifier précisément et de quantifier les micro-organismes présents dans le tractus digestif. Des travaux récents chez l'homme montrent en particulier que ce microbiote impacte directement l'obésité chez l'homme. La connaissance du metagénome des microbiotes intestinaux ouvre la voie à l'amélioration de l'efficacité alimentaire, la diminution de l'usage des antibiotiques et la baisse des rejets d'effluents et de gaz à effet de serre. ●

Cécile Poulain



web :
www.agenae.fr


© Inra / Nathalie Iannuccelli

GEL DE SÉQUENCE chez le porc.

Des petits ARN difficiles à digérer !



© Inra / Corine Enard

Une étude chinoise de 2011 a montré que des petits ARN provenant d'aliments végétaux se retrouvaient intacts dans l'organisme du consommateur. Elle pose la question de leurs impacts éventuels en tant qu'éléments régulateurs du génome. Nous avons demandé à Hervé Vaucheret, spécialiste des petits ARN à l'Inra, de commenter ces résultats.

Depuis les années 90, l'accumulation des connaissances confirme l'importance des petits ARN dans la régulation des génomes. Produits directement par le génome d'un organisme, ou à partir d'éléments génomiques invasifs (virus, transgènes, etc.), ces petits ARN sont capables d'empêcher l'expression des gènes avec lesquels ils présentent une complémentarité de séquence. Ils interviennent dans de nombreux aspects du développement et dans la réponse à divers stress biotiques et abiotiques. Les résultats de l'équipe chinoise (1) ont créé un vif émoi en montrant que des petits ARN végétaux d'origine alimentaire se retrouvaient dans le sang et les cellules du consommateur et étaient donc potentiellement susceptibles d'influer sur sa physiologie. Hervé Vaucheret (2) a cosigné avec Yves Chupeau (3) un commentaire replaçant ces résultats dans le contexte général des connaissances sur les petits ARN (4). Il nous livre ici quelques-unes de ses réflexions.

Quelles nouveautés apporte cette étude ?

Hervé Vaucheret : On savait déjà que des ARN régulateurs peuvent passer d'un organisme à l'autre : plusieurs études décrivent un passage des racines de plantes vers des nématodes qui les colonisent ou des feuilles de plantes vers les insectes qui s'en nourrissent. Les résultats de l'équipe chinoise ne sont donc pas vraiment étonnants. Ce qui est nouveau par contre, c'est que les petits ARN résistent à la cuisson et que l'on peut donc les assimiler à partir d'aliments crus ou cuits.

Parmi les milliers de petits ARN que nous ingérons tous les jours, il n'est pas surprenant non plus, statistiquement parlant, que certains d'entre eux présentent des homologies avec certains de nos gènes. En effet, une complémentarité de six nucléotides suffit à la reconnaissance d'un gène animal par un petit ARN (5). Si l'on identifie un petit ARN qui a une telle complémentarité et qu'on le met en présence du gène humain dans un extrait cellulaire, le système d'extinction fonctionne, c'est quasiment mécanique. C'est ce qui a été réalisé dans l'étude chinoise.

Peut-on imaginer un impact sur la santé humaine ?

H.V. : Il faut être extrêmement prudent en interprétant les résultats des tests sur extraits cellulaires. On ne peut en aucun cas les extrapoler à l'échelle de l'organisme entier. Seules des études cliniques et épidémiologiques permettraient de mettre en évidence un effet en conditions physiologiques. On ne peut pas le prévoir *a priori* : toutes sortes de mécanismes et d'interactions peuvent gouverner l'action d'un petit ARN ingéré et nos connaissances en ce domaine sont encore très limitées. Par exemple, les petits ARN les plus abondants ne sont pas forcément les plus actifs. A l'inverse, on connaît des petits ARN très peu abondants qui ont des effets très importants. C'est un champ énorme d'investigation qui s'offre à nous. Il ne faut pas généraliser à partir d'une seule étude, mais il ne faut pas pour autant passer à côté de découvertes importantes. Qui sait si des petits ARN ne seraient pas à l'origine de l'action de certaines plantes médicinales sur l'organisme ?

Qu'en est-il du glissement du questionnement vers les plantes transgéniques ?

H.V. : Toute perturbation du génome entraîne la production par la cellule de nombreux petits ARN. C'est un mécanisme de défense tout à fait naturel qui vise à stopper les effets délétères des remaniements génomiques. C'est ce qui explique qu'un transgène qui s'exprime d'abord normalement puisse s'inactiver au bout de quelques semaines ou de quelques générations. Au même titre que la caractérisation fine de l'insertion, l'étude des petits ARN produits devrait faire partie du cahier des charges des PGM (6) puisque cela peut maintenant être réalisé en routine et à moindre coût. Mais la question se pose aussi pour les croisements : lorsque l'on croise deux plantes, on provoque d'énormes bouleversements au niveau de la chromatine. Des travaux chez la tomate montrent que dans un hybride, on ne retrouve pas la somme des petits ARN de chaque parent, mais une population profondément modifiée, avec des ARN qui apparaissent et d'autres qui disparaissent. Et évidemment, on ne connaît pas les conséquences de chacune de ces modifications ! Les PGM ne doivent donc ni être exonérées, ni être stigmatisées. Il faut avant tout faire progresser les connaissances en se posant les vraies questions !

Propos recueillis par Pascale Mollier

(1) L. Zhang *et al.* Exogenous plant MIR168a specifically targets mammalian LDLRAP1 : evidence of cross-kingdom regulation by microRNA, *Cell Research* 2012 Jan; 22(1):107-26. Parution en ligne en 2011.

(2) Hervé Vaucheret a observé au cours de sa thèse, dans les années 80, l'extinction de transgènes chez le tabac et a isolé plusieurs gènes impliqués dans ce mécanisme. Il développe depuis avec son équipe des travaux sur les petits ARN endogènes et exogènes et est devenu une référence internationale dans ce domaine.

(3) Comme Hervé Vaucheret, Yves Chupeau est directeur de recherches à l'Institut Jean-Pierre Bourgin de l'Inra de Versailles.

(4) H. Vaucheret and Y. Chupeau. Ingested plant miRNAs regulate gene expression in animals, *Cell Research* 2012 : 22, 3-5.

(5) Dans le processus de silencing (ou extinction de gènes), les petits ARN recrutent un complexe enzymatique de dégradation et l'amènent sur l'ARN messager à détruire, au niveau des séquences complémentaires.

(6) PGM : plantes génétiquement modifiées.

Les champs du possible

Expérimenter pour innover : non plus seulement par l'introduction d'une nouvelle technique, produit ou variété, mais par la conception de systèmes agricoles cohérents.

Concevoir : une nouvelle manière de cultiver les parcelles et d'élever les animaux pour valoriser les ressources naturelles tout en restant compétitif.

Changer d'échelle d'espace et de temps : travailler non plus à l'échelle de la parcelle ou de l'animal mais à l'échelle de l'exploitation, voire du paysage. Sur un pas de temps minimum d'une rotation ou d'un cycle de vie.

Evaluer : les impacts de l'agriculture sur l'écosystème : les flux d'azote, de carbone, la biodiversité, etc., mais aussi l'énergie consommée, le rendement, les marges brutes, le travail… Une évaluation multicritère, économique, environnementale, sociale...

Comprendre : les processus de transitions et de changements de pratiques des agriculteurs.

Dans un monde agricole soumis à de plus en plus de contraintes environnementales et économiques, l'*Homo agricolus* et l'*Homo scientificus* explorent ensemble de nouvelles voies pour produire mieux et durablement. Bienvenue dans l'expérimentation système, un concept devenu incontournable pour concevoir, expérimenter et évaluer de nouveaux systèmes agricoles.





© Inra / Christian Slagamulder

1 La protection intégrée sous toutes les cultures

L'expérimentation système en protection intégrée des cultures Dijon-Epoisses compare depuis dix ans quatre systèmes innovants de production végétale économes en intrants. S'appuyant sur de nombreux outils qui analysent les résultats agronomiques, environnementaux et économiques des différents systèmes, les chercheurs prouvent qu'il est possible de diviser par trois l'usage des herbicides sans perdre la maîtrise des infestations.

Dans l'ancienne étable de la station expérimentale d'Epoisses convertie en salle de conférence, directeurs scientifiques, directeurs de recherches et experts d'organismes agricoles se succèdent à la tribune pour restituer les résultats des dix années de l'expérimentation système protection intégrée des cultures (PIC) Dijon-Epoisses... Depuis l'été 2000, la station expérimentale et l'UMR Agroécologie teste sur vingt hectares quatre prototypes de systèmes de culture en protection intégrée - économes en produits phytosanitaires - pour évaluer leurs performances agronomiques, environnementales et économiques. L'équipe prospecte et expérimente ces quatre systèmes innovants qui combinent plusieurs leviers techniques et agronomiques pour réduire la quantité d'herbicides utilisée. Prenant comme référence un système de production en agriculture raisonnée, les chercheurs examinent ainsi les techniques culturales simplifiées, un système en agriculture intégrée sans désherbage mécanique, un système de protection intégrée avec désherbage mécanique, et un quatrième système « zéro herbicide » (voir le tableau).

PIC Dijon-Epoisses représente pour l'Inra un dispositif de recherche important. Il est le premier essai système de cette ampleur qui a pour objectif de quantifier et évaluer aussi finement les relations entre la parcelle agricole et la flore adventice, conciliant sciences agronomiques et agriculture. C'est un challenge d'autant plus difficile que la principale variable étudiée, le stock semencier (graines d'adventices dans le sol), est soumise à des effets cumulatifs, modifié chaque année par les évènements agronomiques de la campagne. Son évolution est encore très peu connue et maîtrisée, tant par les agriculteurs que par les agronomes. Innovante, l'expérimentation système de Dijon l'est aussi dans les techniques agricoles qu'il teste et les critères de décision retenus.

Une évaluation multicritère

Dans les parcelles d'essai où dépassent ça et là quelques vulpins, sous une pluie fine et mouillante, les équipes présentent ce jour-là, sans se décourager, les différents dispositifs de mesures utilisés dans les parcelles pour évaluer les différents systèmes. Agronomes, malherbologues, hydrologues, écologues, généticiens... Les chercheurs qui y participent sont issus de nombreuses disciplines : 15 à 20 personnes, chercheurs, ingénieurs, techniciens, post-doc, stagiaires, gravitent régulièrement autour du dispositif.

Un des points forts et démonstratifs de l'étude : l'évaluation du stock semencier des différentes parcelles de l'expérimen-

Techniques alternatives pour réduire les pesticides	Système de référence : Agriculture raisonnée	① Protection intégrée, techniques culturales simplifiées	② Protection intégrée sans désherbage mécanique	③ Protection intégrée avec désherbage mécanique	④ Zéro herbicide
Rotation diversifiée		✓	✓	✓	✓
Travail du sol : labour 1 an sur 2			✓	✓	✓
Travail du sol : faux semis répétés		✓	✓	✓	✓
Semis tardif du blé esquive des levées		✓	✓	✓	✓
Choix de cultures compétitives (triticale)		✓	✓	✓	✓
Choix de variétés compétitives		✓	✓	✓	✓
Densités fortes, écartements réduits		✓	✓	✓	✓
Choix d'herbicides en fonction du profil écotoxicologique		✓	✓	✓	
Désherbage mécanique				✓	✓
Désherbage mixte				✓	
Mulchs		✓			
Allélopathie		✓	✓	✓	✓

Les quatre systèmes innovants étudiés à Dijon-Epoisses.

tation. La manipulation, qui nécessite 100 prélèvements par parcelle, consiste à carotter le sol sur 30 centimètres, puis, au laboratoire, à en extraire les graines des adventices de la terre qui seront ensuite caractérisées une à une sous la loupe binoculaire ! Un travail titanesque qui mobilise à chaque campagne de mesure une personne à temps plein pendant six mois. Très rarement réalisée en France et au niveau mondial, cette mesure du stock semencier est cependant fondamentale pour progresser dans la réduction des herbicides et la gestion des mauvaises herbes. « *L'analyse de l'ensemble des données collectées en 2010 par le carottage nous a pris deux ans* », livre Nicolas Munier-Jolain, responsable de l'expérimentation système, pour qui « *ces résultats sont très précieux, démontrant avec une grande force le niveau de maîtrise de la flore sur le long terme et son évolution qualitative au cours des rotations* ». Les vers de terre ne sont pas délaissés. Depuis deux campagnes, les chercheurs prélèvent des échantillons de terre des parcelles pour répertorier leur faune et comparer leur évolution dans les systèmes agricoles. Des mesures qui permettent aujourd'hui d'affirmer que le travail du sol est la principale technique affectant les vers de terre, qui sont donc favorisés par les semis directs sous couvert et les cultures fourragères pluriannuelles. Progressivement les outils de mesures s'affinent pour mieux comprendre les interactions entre les techniques culturales et l'écosystème cultivé. Cette année, pour compléter le dispositif d'évaluation environnementale, des plaques lysimétriques et des bougies poreuses ont été installées à 1 mètre de profondeur environ dans chaque parcelle. Ces drains mesurent les transferts des pesticides des champs vers les eaux de surface et souterraines… Pour compléter le dispositif, des enceintes éparpillées dans les parcelles suivent depuis plus d'un an les flux de gaz à effet de serre, N_2O, CO_2 émis au champ. Les chercheurs vont encore plus loin, prospectant maintenant la microbiologie des différents sols cultivés. Ils confirment que le mode de conduite d'une parcelle impacte de manière importante la structure et la diversité génétique de la flore microbienne du sol. Les conséquences agronomiques de cette diversité biologique des sols affectée par les pratiques agricoles sont mal connues et restent encore un sujet de recherche.



Des résultats de recherche appliquée

« *Comprendre les interactions entre les cultures et les adventices est essentiel si nous voulons réduire notre consommation d'herbicides. De nombreux facteurs, tels les successions culturales, les travaux*



BINAGE DU COLZA (désherbage mécanique).

du sol, la météo, les variétés, affectent la dynamique des infestations, et les différentes espèces adventices ont des stratégies de réponses contrastées » explique Nicolas Munier-Jolain. L'agriculture et ses différents modes de production nécessitent aujourd'hui des expérimentations d'un type nouveau, à l'échelle du système, qui viennent compléter les travaux de modélisation rendant compte des interactions complexes à l'intérieur du système « champ cultivé / adventices ». Guy Richard, chef du département Environnement et Agronomie de l'Inra, explique : « *les expérimentations systèmes de Dijon nous ont permis d'acquérir des connaissances nouvelles sur les relations entre les pratiques agricoles et le fonctionnement des agrosystèmes. Elles ont aussi permis de concevoir des systèmes de culture répondant aux nouveaux enjeux : la fourniture de nouveaux services alimentaires et écologiques, de nouveaux leviers agroécologiques à tester à l'échelle de la plante, de la parcelle et du paysage. Ces systèmes de culture que nous expérimentons sont souvent en rupture par rapport à l'existant. Ils génèrent des milieux originaux non présents dans les agroécoystèmes classiques* ».


© DR / Inra - Dijon

ENCEINTES DE MESURES **au champ des émissions de gaz à effet de serre.**

Un nouveau concept d'expérimentation

par **Jean-Marc Meynard**, *qui a été l'un des promoteurs du concept, et qui a dirigé le département Science pour l'action et le développement de l'Inra de 2003 à 2012.*

©: DR

L'expérimentation système est devenue une méthodologie majeure pour « concevoir, expérimenter et évaluer de nouveaux systèmes agricoles s'inscrivant dans le cadre exigeant du développement durable », priorité que l'Inra a intégrée dans son dernier document d'orientation. Cet outil de recherche, dont l'origine remonte à plus de vingt ans, reste cependant méconnu. Ce qui en fait l'originalité, c'est que l'on teste, non plus des techniques isolées, mais un ensemble de techniques cohérentes entre elles, formant des systèmes de culture et/ou d'élevage. On se rapproche ainsi de la manière dont un agriculteur ou un éleveur les mettrait en œuvre.

L'expérimentation agronomique, en domaine expérimental ou en ferme, est bien sûr depuis longtemps une source de données essentielle pour l'Inra. Mais jusque récemment, il s'agissait principalement d'expérimentation factorielle, réalisée dans le but d'analyser un processus mal connu, de modéliser les effets d'une technique, ou de comparer le comportement de variétés ou de races dans des milieux différents (interaction génotype x milieu). Cette approche a constitué (et constitue encore) la base d'une compréhension de plus en plus fine de ce qui détermine la production et ses conséquences sur l'environnement.

L'apparition de l'expérimentation système au cœur des années 80 peut être vue comme une réaction aux limites du réductionnisme, alors très prégnant : les agronomes et zootechniciens ont pressenti que tout ne pouvait pas être compris, ni prévu, en découpant la réalité en morceaux de plus en plus petits. L'intérêt porté aux pratiques des agriculteurs et des éleveurs, à leurs logiques d'action, aux rétroactions, aux propriétés émergentes*, a conduit à la théorisation des notions de système de culture (années 70), puis de système d'élevage (début des années 80). Les premières expérimentations de systèmes innovants ont rapidement suivi, sur les itinéraires techniques du blé et de la betterave (à Grignon, 78) et sur des niveaux de chargement en moutons/ha (à Redon, en Auvergne). Ont surgi alors d'autres questions : comment définir les effectifs d'animaux ou la taille des parcelles pour mettre en place des systèmes réalistes ? Comment traiter statistiquement les données, alors que les contraintes matérielles obligent souvent à renoncer aux blocs-répétitions ? Comment obtenir des résultats reproductibles, d'un lieu à l'autre ou entre années, alors que la mise en œuvre des systèmes nécessite un ajustement au cas par cas ? Doit-on comparer le système innovant à un système témoin représentant les pratiques dominantes ?

Ce nouveau paradigme expérimental a d'abord dérouté : les résultats des premières expérimentations systèmes n'ont pu être publiés que dans des revues de second rang ou des chapitres d'ouvrages. Mais, progressivement, ainsi que le soulignait en 2006 le rapport de la mission Inra « Conception de Systèmes Agricoles Innovants », l'expérimentation système est entrée dans la boîte à outils des concepteurs. Dans les années 90, les systèmes testés ont été formalisés comme des « jeux de règles d'action », l'expérimentation système consistant alors à évaluer la cohérence de ces règles par rapport à l'objectif à atteindre. Puis, dans les années 2000, on a discuté pour savoir si, dans une expérimentation pluriannuelle, il fallait conserver les règles d'action inchangées pendant toute la durée de l'expérimentation, pour assurer l'homogénéité du test, ou bien s'il fallait modifier les règles inadéquates pour améliorer le système. Le deuxième type d'approche correspond à la conception dite « pas à pas ».

Aujourd'hui, des expérimentations systèmes sont développées dans un nombre croissant d'unités expérimentales, sur des productions très diverses. Les systèmes testés mobilisent les concepts et connaissances de l'agroécologie. Et, comme le montre ce dossier, on élargit l'échelle au niveau de l'exploitation agricole tout entière, et même du paysage.

* Propriétés nouvelles, liées au fait qu'un système est plus que la somme de ses composants.





PRÉSENTATION des systèmes de culture PIC à un groupe d'agriculteurs.

Un dispositif d'envergure pour la réduction des intrants

Avec plus de dix ans de recul, l'expérimentation PIC Dijon a démontré qu'il est possible de réduire de 50 à 80 % les traitements utilisés par rapport au système de référence. Nicolas Munier-Jolain détaille : « *Le prototype de production 4 testé depuis 2000, - en protection intégrée sans contrainte, avec désherbage mécanique - divise par trois l'usage des herbicides, et réduit de 50 à 80 % l'ensemble des pesticides. Ces réductions n'ont pas entraîné d'augmentation du stock semencier. Le bilan environnemental est par ailleurs très positif : ce système de production n'a ni alourdi le bilan énergétique - malgré un passage plus fréquent dans les parcelles pour les faux semis -, ni les émissions de gaz à effet de serre, grâce en particulier à l'introduction de légumineuses dans des rotations diversifiées. En réduisant ses intrants, l'agriculteur diminue ses charges de 100 à 170 €/ha/an. Mais la diversification de l'assolement couplée à une baisse des rendements de 19 % (en moyenne en blé) entraîne une perte de produit brut d'environ 200 €. Les cultures introduites, comme le sorgho, la féverole, le lupin ou le soja, contribuent beaucoup à cette baisse de produit brut. Au bilan, la baisse des charges ne compense pas la perte de produit brut, et la marge est réduite d'environ 100 € par rapport au système de référence, valeur approximative qui dépend beaucoup du contexte économique fluctuant. Les systèmes testés tendent à diminuer la rentabilité, du fait essentiellement de la diversification des cultures moins valorisables sur le marché, mais le différentiel reste modéré* ». D'autres résultats de l'expérimentation système ont également été publiés dans plus de neuf revues de science. Les chercheurs proposent en parallèle une importante diffusion de leur acquis auprès des conseillers et des agriculteurs. Et sur place, les équipes informent et forment de manière répétitive. Autant que la production de résultats scientifiques ou expérimentaux, le dispositif s'attache à la diffusion de ces techniques et connaissances au monde agricole. Il constitue un accompagnement de la profession dans ses changements de pratique, en particulier dans la dynamique Ecophyto actuelle. Pour Guy Richard, les résultats sont multiples : « *Cela donne un ensemble de connaissances à destination de la communauté scientifique et professionnelle* ».

Lieu de production et de diffusion de savoirs

L'expérimentation système est aussi le lieu de production d'outils d'aide à la décision et un lieu de visite et d'échange avec les élèves, étudiants, techniciens agricoles, agriculteurs, chercheurs. Depuis son installation, PIC Dijon-Epoisses a ainsi reçu la visite de plus de 800 agriculteurs, et une cinquantaine de conseillers, formateurs et chercheurs. Sans compter les 60 stagiaires en formation continue, les 300 étudiants en visite de terrain et les 200 étudiants en formation. Selon Marie-Sophie Petit, de la Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, « *l'expérimentation de Dijon a un rôle central dans les dynamiques de formation. C'est une ressource importante pour la communication et le dialogue. C'est une ressource pour la conception, par les agriculteurs eux-mêmes, de systèmes innovants et performants, qu'ils peuvent tester en vraie grandeur sur leurs parcelles. Dans cette phase de conception, ils peuvent s'aider de OdERA-Systèmes, Outil d'Evaluation du Risque en Adventices dans les Systèmes de culture, développé par AgroTransfert Ressources et Territoires, sur la base de l'expertise de l'équipe dijonnaise. OdERA est un système didactique permettant de simuler les effets de scénarios de changements de pratiques sur la flore adventice* ». Nicolas Munier-Jolain confirme : « *le nombre de visiteurs est très satisfaisant. On reçoit également des demandes de groupes d'agriculteurs en semis direct qui cherchent des informations sur les retombées environnementales de leurs pratiques, notamment sur l'impact du glyphosate et son risque de transfert dans les eaux souterraines et les nappes phréatiques* ». Selon Hervé Guyomard, directeur scientifique agriculture à l'Inra : « *Cette expérimentation système préfigurait Ecophyto et a été mise en place avec anticipation et intuition. C'est un bel exemple de recherche répondant aux objectifs à court et long termes d'une agriculture qui doit se plier aux exigences sociales, économiques et environnementales* ».



© DR / Inra - Dijon

CARACTÉRISATION AU CHAMP des propriétés hydrauliques des sols.



© Inra / Cécile Poulain

2 Des chercheurs au plus près des pratiques agricoles

Située dans la plaine des Vosges, l'installation expérimentale de Mirecourt conduit depuis 2004, en parallèle et avec une démarche pas à pas, deux systèmes d'élevages bio qui minimisent le recours aux intrants (zéro engrais, zéro pesticide, zéro paille extérieure, minimum de fioul) : l'un 100 % herbager et l'autre en polyculture-élevage.

Entourés de leurs éternelles mouches, deux troupeaux mixtes d'Holstein et de Montbéliarde paissent dans deux prés encore verdoyants malgré cette fin d'été 2012. Ils reviendront ce soir à la salle de traite, avant de repartir à nouveau dans les prairies permanentes ou temporaires. Une quarantaine de vaches laitières sont au régime 100 % herbe. Pour les soixante autres, le menu est plus varié. Ces deux troupeaux de l'unité de recherche Agrosystèmes, territoires, ressources (Aster) de Mirecourt consomment uniquement des aliments produits sur l'exploitation qui se déploie sur les 240 hectares de prairies permanentes, temporaires, de cultures de céréales et de mélanges céréales-protéagineux. Chacun des troupeaux est autonome en fourrages et l'ensemble l'est en pailles et en céréales.

Ici, les chercheurs malmènent les standards pour produire en adéquation avec le milieu. « *Un vêlage par vache et par an* », *une parcelle* « *sale* »… *Ces normes standardisent les pratiques agricoles, limitant les capacités d'évolution. Nous concevons des combinaisons de pratiques agricoles innovantes sur nos deux systèmes que nous mettons directement à l'épreuve du réel en les testant sur plusieurs campagnes* » explique Xavier Coquil co-animateur de l'expérimentation système. Pour aller encore plus loin dans sa démarche, l'équipe de 15 ingénieurs et techniciens a converti en 2004 l'ensemble de l'installation expérimentale à l'agriculture biologique, avec un mot d'ordre : consommer le moins d'intrants possible. Pour ces chercheurs, l'élevage, dont la rentabilité est très dépendante des aides de la PAC, doit tendre vers plus d'économie, en maximisant l'utilisation des ressources naturelles et en réduisant ses intrants « extérieurs ». Le milieu naturel doit devenir le principe organisateur de l'activité agricole : sa préservation est la condition et le moyen de gérer ses ressources. Jean-Louis Fiorelli, co-animateur de l'expérimentation système témoigne : « *notre choix de conversion biologique a suscité au départ beaucoup d'interrogations dans le milieu agricole, car l'unité de Mirecourt avait toujours eu un rôle de vitrine, de modèle régional en matière de production agricole. Les agriculteurs se questionnaient sur le message transmis par l'Inra : l'avenir devrait-il être bio ? Mais avec la crise agricole de 2008-2009 qui a vu les prix des céréales chuter et ceux des intrants augmenter, avec les chantiers du Grenelle de l'environnement et d'Ecophyto, le contexte a changé. Les agriculteurs sont revenus vers nous, intéressés par nos systèmes un peu extrêmes d'économie en intrants et en pesticides* ». Ils sont chaque année 800 à 1 000 visiteurs : agriculteurs, conseillers

agricoles, techniciens ou étudiants, à venir échanger sur les pratiques alternatives agronomiques et zootechniques et le fonctionnement économe et autonome de ces deux systèmes.
L'objectif des recherches à Mirecourt est double. Le premier vise à vérifier que ces modes de production agricole dits « durables » le sont réellement du point de vue agroenvironnemental essentiellement, mais aussi économique. Le second œuvre à enseigner les savoir-faire et les connaissances acquises par les expérimentateurs et des agriculteurs pendant leur passage de l'agriculture conventionnelle à une agriculture bio et économe en intrants.



© Inra / Etienne Gaujour

MIRECOURT est aujourd'hui le seul élevage expérimental bio du quart nord-est de la France et la seule installation expérimentale de l'Inra totalement convertie à l'AB.

Un challenge agronomique pour la durabilité

Sur une parcelle au loin, on détruit une luzernière. On y sèmera du blé, bio et meunier, à destination des moulins de la région. Plus loin encore, on épand du lisier sur une prairie qui vient d'être pâturée. La conception de l'expérimentation système est évolutive : chaque année de nouveaux « essais » sont mis en place pour ajuster au mieux l'interaction culture-élevage selon les observations des expérimentateurs. S'appuyant sur les pratiques des pionniers en techniques culturales simplifiées dans les systèmes céréaliers bio, ainsi que sur un essai dédié au travail du sol au sein du système de polyculture élevage, ces expérimentateurs ont réussi à limiter le recours au labour dans les rotations culturales (deux labours maximum sur une rotation de 8 ans). Sur la base de différents essais réalisés depuis 2006, ils installent cette année des intercultures qui promettent de multiples réponses agronomiques : couvrir le sol, fixer de l'azote, concurrencer la présence d'adventices, ne pas intervenir pour la destruction du couvert…
Les granges de l'installation expérimentale croulent sous le poids de foins multicolores et de pailles… Tout est précisément étiqueté. Pour atteindre une forte autonomie, la sécurisation du système requiert notamment une trésorerie fourragère importante, tant au pâturage qu'en matière de fourrages récoltés. La traçabilité est la règle d'or : on est capable de déterminer l'origine parcellaire de chaque botte. Tout élément entrant, sortant ou en circulation sur la ferme, passe à un moment ou un autre sur une bascule : lait, veau, vache, fumier, foin, paille, refus alimentaire...

La production laitière des deux exploitations est d'un niveau acceptable : 5 000 kg par an pour les Holstein, 4 800 kg par an pour les Montbéliarde dans le système herbager et respectivement 6 200 et 5 200 kg/VL/an pour ces deux mêmes races dans le système de polyculture-élevage. Les performances du troupeau sont évaluées par des pesées mensuelles, par le contrôle de production laitière lors de chaque traite et deux contrôles hebdomadaires individuels de la qualité du lait (taux butyreux, taux protéique, comptage cellulaire). Le suivi de l'alimentation est réalisé par lot : les aliments distribués et les refus sont pesés. Les événements individuels de santé et de reproduction sont enregistrés, et l'état corporel des vaches est noté à chaque pesée.
Les performances agronomiques et zootechniques des productions végétales et animales (pression de maladies, concurrence des adventices, attaques des ravageurs et rendement) des deux systèmes sont analysées à la loupe. Les stocks d'herbe au pâturage sont mesurés à partir de relevés hebdomadaires de la hauteur de l'herbe et de sa densité dans les parcelles pâturées. Le rendement des prairies est évalué par la pesée de l'herbe récoltée à chaque fauche et par l'estimation de l'herbe ingérée à chaque cycle de pâturage. Une évaluation de la production valorisée à la parcelle est également réalisée.
La transformation à long terme du territoire agroenvironnemental lui-même est suivie grâce à 74 zones fixes géoréférencées et représentatives de l'installation expérimentale où sont quantifiés les cycles des éléments (carbone, azote, potassium, calcium, phosphore et magnésium). Fabienne Barataud, ingénieur de recherche, travaille sur les mesures de la qualité des eaux collectées depuis 1990 *via* les bougies poreuses installées sur une quinzaine de parcelles de Mirecourt. Etudiant notamment l'évolution du bilan azoté lors du passage de l'installation expérimentale du conventionnel au bio, elle analyse les transferts de fertilité au sein de l'exploitation : « *chaque parcelle possède son bilan azoté : les exportations d'azote (par la fauche, la production de lait et la viande) et les importations (semis de légumineuses). Le bilan est équilibré à l'échelle de l'exploitation mais pas toujours au niveau des parcelles. Nous modélisons ainsi les flux d'azote en fonction des types de travaux du sol, des rotations, de la pâture des vaches* ». Par ailleurs, la fertilité biologique du milieu est analysée au travers de l'étude des populations de carabes, insectes et vers de terre, et la flore spontanée des parcelles.

Comprendre la transition vers les systèmes autonomes et bio

L'unité de recherche Aster, intégrée au département des Sciences pour l'Action et le Développement, SAD, s'intéresse plus à la manière d'acquérir les connaissances et savoir-faire pour mettre en place les systèmes autonomes qu'aux résultats analytiques qui en sont issus. Un travail d'équilibriste entre conception pas à pas de systèmes agricoles et évaluation par des collectes de données quantitatives et qualitatives… tout en ayant à cœur la diffusion de ces savoirs aux agriculteurs intéressés. L'unité se revendique plus comme un

dispositif expérimental d'échange de savoirs que de production de solutions techniques « clef en main ». A l'image de l'agriculteur qui modifie son exploitation agricole par des ajustements et parfois des ruptures, la conception pas à pas des deux systèmes de production de Mirecourt fournit des connaissances sur la manière de conduire les transitions face aux fluctuations extérieures. Ces transitions, comme le passage à l'agriculture biologique des deux systèmes, entraînent l'émergence de nouvelles techniques, de nouveaux savoir-faire et règles de conduite. A Mirecourt, les expérimentateurs ont, par exemple, dû apprendre à gérer les effectifs animaux selon les disponibilités en fourrage et en paille (et non selon l'objectif de produire le quota laitier), ils ont dû apprendre à gérer le désherbage des cultures en intégrant des prairies temporaires dans les rotations et en mobilisant des techniques de désherbage alternatif (binage, herse-étrille). Les techniciens se sont également progressivement formés aux soins aux animaux à partir d'huiles essentielles et d'homéopathie. Comme les agriculteurs, ils ont eu besoin d'acquérir de nouveaux savoir-faire pour décider, piloter et agir. Quels sont les processus, les ressources et les situations impliqués dans cette acquisition de nouveaux savoir-faire ? Xavier Coquil détaille :

© Inra / C. Etienne

L'EXPÉRIMENTATION, à l'échelle du système de production et sur plusieurs années, permet d'étudier la transition de systèmes de polyculture-élevage vers l'agriculture biologique et l'autonomie.

« Notre évolution pas à pas nous amène à accéder à ce qui nous était impensable auparavant, à questionner, voire modifier les référentiels et normes agricoles auxquels nous adhérions. Cela nous amène également à changer notre manière de chercher. Les techniciens, très associés aux prises de décisions, deviennent aujourd'hui des transmetteurs de savoir. Au final, nous avons plus comme objet de recherche les techniciens eux-mêmes et leur manière d'innover : leurs ressources, leurs normes, leurs objectifs de travail. Comment trouvent-ils le fil pour convertir nos deux exploitations en bio ? »

Ce travail sur les transitions permet la formalisation de savoirs singuliers, locaux, nés des interactions entre l'homme et le milieu. Selon Matthieu Godfroy, responsable de l'installation expérimentale, ces savoirs sont la base des échanges avec les visiteurs du dispositif :« *Nous produisons énormément de données. Ces connaissances analytiques sont utiles pour des publications scientifiques mais souvent limitées dans l'usage que peuvent en faire les agriculteurs. Ce qui nous intéresse essentiellement est d'évaluer et comprendre les performances de nos deux systèmes, pour proposer des connaissances, ressources ou outils mobilisables par les agriculteurs pour évoluer. Quels sont les besoins de ceux qui innovent ? Quelles sont les clefs à fournir aux agriculteurs qui veulent faire évoluer leur système de production ? L'objectif n'est pas de convaincre, avec nos chiffres ou nos références, les agriculteurs de passer en bio ou en 100 % autonome. Nous ne souhaitons d'ailleurs pas les asphyxier de chiffres et références, mais leur apprendre à apprendre. Nous proposons aux visiteurs des situations quelque peu extrêmes avec des garanties techniques et économiques, et sur cette base nous échangeons sur les pistes que nous avons suivies pour conduire ces systèmes dans leur territoire propre. Bien sûr ce n'est pas reproductible tel quel et c'est ce qui justifie notre démarche basée sur les processus de changement. Notre ferme expérimentale a une notoriété utile pour permettre d'attirer et d'échanger sur une base concrète* ». La conception pas à pas travaillée sur l'essai système de Mirecourt est basée sur l'identification progressive des connaissances et savoir-faire pertinents pour conduire des systèmes autonomes. Ces ressources sont les objets de recherche et la base des échanges avec la profession. Un tel dispositif fait apparaître des conduites et des pratiques originales (lactation de deux ans…) que l'équipe étudie grâce à des collaborations entre la recherche et le développement.



© Inra / Cécile Poulain

EN SYSTÈME AUTONOME, les fourrages, tant au pâturage qu'en grange, sont le nerf de la guerre. L'exploitation de Mirecourt est capable de déterminer l'origine parcellaire de chaque botte stockée dans ses granges.


© Inra / Caroline Colnenne

LES CULTURES INTERMÉDIAIRES MIXTES (ici, phacélie et moutarde) enrichissent le sol en azote, réduisent la lixiviation des nitrates et attirent les pollinisateurs.

3 Energie, gaz à effet de serre, biodiversité : de nouveaux objectifs

Economiser l'énergie fossile, réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), favoriser la biodiversité, sont de nouveaux objectifs environnementaux, à portée plus globale que locale, que les chercheurs ont maintenant les moyens méthodologiques d'intégrer dans des systèmes de culture ou d'élevage. Exemples avec les expérimentations systèmes de Grignon (Bassin parisien) et Saint-Laurent-de-la-Prée (Poitou-Charentes).

L'expérimentation système SIC (Systèmes innovants sous contraintes), conduite depuis 2008 par l'Inra (UMR Agronomie Inra/APT) en partenariat avec la ferme d'AgroParisTech à Grignon, évalue trois systèmes de grandes cultures respectant chacun une contrainte majeure : soit se passer de pesticides, soit réduire de moitié la consommation d'énergie fossile, soit diminuer de moitié les émissions de GES.

Des objectifs environnementaux en rupture

« *Nous avons mis la barre assez haut,* commente Thierry Doré, de l'UMR Agronomie. *Mais le propre de l'expérimentation est justement d'essayer de repousser les limites. Même si nous n'avons pas encore tous les résultats, nous montrons que ces objectifs ambitieux sont atteignables, et ce, pour des systèmes de grandes cultures représentatifs du Bassin parisien, avec un niveau de productivité correct, même si cette dernière n'est pas la priorité* ». En fait, il y a une hiérarchie dans les objectifs : d'abord respecter la contrainte majeure, puis remplir d'autres critères agri-environnementaux qu'il ne s'agit pas d'hypothéquer, et enfin maximiser les rendements dans la marge de manœuvre restante.

Une phase de conception complexe

Comme dans l'exemple de Dijon (voir partie 1) la conception des systèmes se fait par prototypage en combinant différents leviers techniques connus des professionnels agricoles ou des chercheurs (voir le tableau). Puis les chercheurs calculent plusieurs variables telles que la consommation en énergie fossile ou les émissions de GES, mais aussi une dizaine d'autres indicateurs agri-environnementaux définis selon la méthode Indigo© développée à l'Inra. Il s'agit par exemple d'indicateurs portant sur la présence de pesticides dans l'air, l'eau et le sol, les teneurs du sol en nitrate, phosphore et matières organiques, etc. Si le système envisagé ne donne pas satisfaction pour toutes ces variables, il est modifié, et les calculs sont reconduits jusqu'à obtention

des résultats visés. De nombreuses boucles de conception-évaluation-correction de ce type sont nécessaires pour arriver au système qui sera ensuite testé en champ.

Qui dit système dit contradictions à résoudre

« *Le système 50% GES a été le plus difficile à concevoir*, explique Caroline Colnenne, l'ingénieur qui a piloté la conception des systèmes de culture. *Les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) sont très variables selon les conditions pédoclimatiques et selon la forme sous laquelle l'engrais azoté est apporté, et en faire une évaluation* a priori *est très hasardeuse. C'est pourquoi nous avons pris le parti d'optimiser le stockage de carbone dont on connaît mieux les mécanismes (cf. l'expertise Inra de 2002 (1)). Mais il est nécessaire de faire des compromis : des leviers techniques favorables au stockage de carbone (absence de labour, biomasse abondante de céréales à paille dont les résidus favorisent le stockage de carbone dans le sol) peuvent être défavorables du point de vue des émissions d'azote (compaction du sol, utilisation de quantités d'engrais azotés élevées pour assurer la production de biomasse suffisante). Ceci nous oblige à aller plus loin dans la définition des leviers techniques à mobiliser : utiliser des formes d'engrais spécifiques, des inhibiteurs de dénitrification, des intercultures pour piéger l'azote, etc.* »



© Inra / Caroline Colnenne

DÉNOMBREMENT des populations de vers de terre, une des composantes biologiques mesurées pour chaque système.

Les trois systèmes innovants sous contraintes étudiés à Grignon

Systèmes	Rotations	Principaux leviers	Rendements**(t/ha)
Système de référence (1)	Cinq ans - Féverole d'hiver - Blé tendre d'hiver - Colza d'hiver - Blé tendre d'hiver - Moutarde - Orge de printemps	• Variétés résistantes • Dates et densités de semis • Légumineuses • Un seul labour	Blé : 7,9 Colza : 3,1 Orge de printemps : 6,2 Féverole : 3,4
Sans pesticides (2)	Six ans IC* - Féverole de printemps - Blé tendre d'hiver - IC* - Chanvre - Triticale - IC* - Maïs - Blé tendre d'hiver	• Désherbage mécanique • Alternance d'espèces d'hiver et de printemps • Luzerne deux années de suite si adventices	Blé : 5,5 Maïs : 6,5 Triticale : 5,0 Chanvre : 8,0
50% énergie (2)	Six ans Féverole d'hiver - Blé tendre d'hiver - Lin oléagineux d'hiver - Association Blé tendre d'hiver et Trèfle blanc - Trèfle blanc - Avoine de printemps	• Légumineuses • Diminution de production • Espèces efficientes pour l'azote (avoine, lin) • Economie d'engrais azoté • Pas de labour	Blé : 6,3 Avoine : 3,8 Lin : 1,8 Féverole : 3,4
50% Gaz à effet de serre (2)	Six ans IC* - Féverole de printemps - Colza d'hiver - repousses + IC* - Blé tendre d'hiver - IC* - Orge d'hiver - IC* - Maïs - Triticale	• Céréales à paille • Production élevée • Pas de labour • Stockage de carbone	Blé : 7,9 Colza : 3,1 Orge d'hiver : 7,2 Triticale : 7,1

IC* : Interculture dont la nature n'est pas définie à ce jour.

** Sur les récoltes 2009 à 2011.

(1) Le système de référence est un système dit « Productif à Hautes Performances Environnementales », car tout en satisfaisant des critères environnementaux spécifiés, les niveaux de production doivent être relativement élevés.

(2) Pour ces systèmes, comme pour le système de référence, on joue aussi sur le choix des variétés et les densités de semis.

L'épreuve du terrain

Les premiers résultats expérimentaux montrent que les contraintes sont satisfaites, les objectifs environnementaux atteints et les rendements obtenus globalement conformes aux prévisions. Le système « GES » produit les mêmes rendements que le système de référence. Ceux du système sans pesticides, certes inférieurs au système de référence, sont supérieurs de 10 à 20% à ceux de l'agriculture biologique dans la région. Enfin, le système « énergie » donne des rendements en moyenne inférieurs de 20% à ceux du système de référence. Dans ce cas en effet, l'obligation de diminuer de 50% la consommation d'énergie fossile conduit à limiter les quantités d'engrais azotés apportées (2), ce qui impacte directement les rendements.

Sur le long terme, les effets des systèmes sont mesurés sur les composantes biologiques du milieu : populations de vers de terre, de carabes, d'adventices, microflore du sol… Des résultats plus robustes seront obtenus à l'horizon 2020, après deux cycles complets de rotations.

« *Dans cette expérimentation, ce qui est nouveau, ce ne sont pas tant les techniques ou les variétés que leur combinaison, mais c'est surtout la construction des systèmes à partir d'objectifs environnementaux précis et ambitieux* », résume Thierry Doré. *Nous avons maintenant les outils pour concevoir « sur le papier » de tels systèmes et ça marche au champ !* »

Les systèmes définis dans SIC intéressent les régions de grandes cultures du Nord de l'Europe. Par ailleurs, ce dispositif est intégré dans de nombreux réseaux de recherche : français dans le cadre du RMT Systèmes de culture innovants (3), ResOpest (4), européen dans le projet PURE (5), et international dans le cadre de la Global Research Alliance (6).

(1) Expertise collective réalisée par l'Inra à la demande du ministère de l'Écologie et du Développement durable en 2002 : « Contribution à la lutte contre l'effet de serre : stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? »

(2) La fabrication d'engrais est, avec les travaux mécaniques, le principal poste consommateur d'énergie dans un système de culture.

(3) Réseau mixte technologique mis en place en 2007, co-animé par la Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, l'Acta et l'Inra.

(4) Réseau 0 pesticide : réseau expérimental multisites et longue durée, créé en 2012 (Inra, Itab, Acta, ITB, Arvalis, Cetiom).

(5) Projet européen « Réduction des usages et des risques liés aux pesticides par la protection intégrée dans les systèmes agricoles européens », lancé en 2011 et coordonné par l'Inra.

(6) GRA : Initiative internationale lancée en 2009 par la Nouvelle-Zélande pour la réduction des émissions de GES en agriculture, où 33 pays sont représentés.

Nourrir les vaches et préserver les oiseaux des marais

L'expérimentation-système de Saint-Laurent-de-la-Prée, menée depuis presque 4 ans près de La Rochelle (Charente-Maritime), est un bel exemple d'application des principes de l'agroécologie. Ce système de polyculture-élevage, situé dans les marais charentais, se veut à la fois producteur de cultures et d'animaux (1), (veaux, broutards, bœufs engraissés) et « producteur » de biodiversité. « *Pour les oiseaux qui nichent au printemps dans les prairies, la hauteur de l'herbe est l'un des facteurs clés* », explique Christophe Rossignol, en charge de l'élevage. Idéalement, elle doit être inférieure à 10 cm pour la nidification du vanneau huppé par exemple, puis entre 10 et 15 cm pour protéger les poussins après l'éclosion. Mais toutes les espèces d'oiseaux ne nichent pas en même temps et ne recherchent pas les mêmes couverts végétaux. Il faut sortir les vaches assez tôt, dès mars, pour raccourcir l'herbe à temps, mais pas trop tôt, sinon, le sol argileux est trop meuble (non portant) et l'herbe pas assez abondante pour nourrir correctement les vaches. « *On arrive à concilier toutes ces contraintes en jouant sur plusieurs parcelles de hauteurs d'herbe différentes, avec des temps de pâturage variables* », poursuit Christophe Rossignol (1).



© Inra / Bertrand Nicolas

© Inra / Nathalie Lemaire

CINQUANTE VACHES de race Maraîchine paissent sur le domaine expérimental de St-Laurent-de-la-Prée, qui s'étend sur 180 ha dont 1/3 de cultures drainées et 2/3 de prairies permanentes.

Couvée de busards dans une culture de triticale.

Un système de cultures diversifiées sur 50 ha permet de compléter l'alimentation des vaches en diminuant le recours à l'achat de compléments. Outre le blé d'hiver, le tournesol, le triticale, la rotation sur neuf ans inclut des protéagineux (pois, féverole) et de la luzerne pour faire des stocks d'aliments pour l'hiver ou pour combler le « trou d'été », les années où l'herbe manque. Pour Jean-Michel Hillaireau, qui gère ces cultures, « *le marais fournit une bonne réserve d'eau qui permet des cultures exigeantes en été, comme le maïs ou le tournesol, à condition de bien le gérer au niveau hydraulique* » pour maintenir la fertilité du sol (hydromorphie, porosité, vie biologique). « *Même les cultures peuvent être attractives pour les oiseaux, complète-t-il, les vanneaux peuvent nicher dans le tournesol et on a eu cette année un nid de Busard des roseaux dans le triticale…* »

« *Nous cherchons à tirer profit des propriétés naturelles du système. Les prairies par exemple sont le support de biodiversité animale et végétale et peuvent jouer un rôle dans l'amélioration de la qualité de l'eau en dégradant les nitrates*, conclut Daphné Durant, ingénieure écologue au domaine. *Nous valorisons aussi les bandes enherbées (5 ha) en tant que réservoirs d'auxiliaires de culture : les pollinisateurs et les insectes prédateurs comme les carabes, qui détruisent les limaces et les pucerons. Nous ouvrons le domaine aux chercheurs extérieurs qui viennent étudier d'autres aspects du système, comme la structure des sols de marais ou encore la biodiversité aquatique et des bords de canaux* ».

Au contraire de SIC et de Dijon, mais comme à Mirecourt, l'expérimentation suit une démarche « pas à pas », avec une amélioration continue tendant vers des objectifs qualitatifs : améliorer la biodiversité ainsi que la qualité de l'eau et des sols, et augmenter l'autonomie du système, en particulier l'autonomie alimentaire du troupeau. Cette dernière devrait être augmentée dès 2013 par la mise en service de silos à grains, tandis que les indicateurs de biodiversité (oiseaux, insectes, flore) seront suivis chaque année sur le long terme. L'évaluation multicritère voulue implique de calculer également le bilan économique annuel du système et la charge de travail.

(1) Voir aussi Inra magazine n° 14 pages 10-11.

Diversité des expérimentations systèmes coordonnées par l'Inra



1- Systèmes innovants sous containtes
2- Itinéraires culturaux économes en intrants
3- Protection intégrée des cultures
4- Systèmes viticoles économes en phytos

Depuis quelques années, on assiste à une montée en puissance des expérimentations systèmes à l'Inra. Toutes n'ont pas pu être représentées sur la carte. Plusieurs d'entre elles s'insèrent dans des dispositifs nationaux, comme Ecophyto 2018, ou internationaux, visant à concevoir des systèmes de culture innovants et durables.

Dossier rédigé par **Cécile Poulain** et **Pascale Mollier**
Responsable scientifique : **Jean-Marc Meynard**

Plongez dans le monde de l'eau !

REPORTAGE



© Vigie de l'eau

Depuis 2007, le centre Inra de Nancy apporte son appui à un projet associatif de culture scientifique centré sur l'eau : la Vigie de l'eau. Visite guidée de cet espace innovant de culture scientifique créé au cœur du site thermal de Vittel.

La Vigie de l'eau vise d'abord à informer le grand public comme les décideurs sur le thème de l'eau, ressource et milieu de vie essentiels. Mais au-delà de l'information, il s'agit aussi de favoriser des rencontres et des débats permettant de replacer la recherche et la science au cœur de la société. Le projet est fortement soutenu par les partenaires régionaux et a bénéficié de l'aide de Nestlé Waters.

Les technologies les plus récentes au service de la culture scientifique

D'emblée, le visiteur est plongé dans une ambiance aquatique par des jeux de lumières, de couleurs et de sons qui mettent en valeur l'architecture mauresque de la galerie thermale dans laquelle la Vigie de l'eau s'est installée.
L'espace est structuré en plusieurs lieux symboliques : la Source, le Puits, l'Aqueduc et le Lavoir, portant chacun une dimension du monde de l'eau. Au fil de la visite, on peut jouer avec les bulles des tables tactiles de la Source et découvrir cascades, rivières, et autres formes d'apparition de l'eau dans la nature. Plus loin, on découvre les ressources en eaux souterraines dans le Puits. L'Aqueduc et le Lavoir abordent les rapports de l'homme et de l'eau : canalisation, distribution, consommation.
La Vitrine de la recherche, au cœur de l'exposition, présente la démarche et le travail quotidien des chercheurs, à travers des films, des portraits et des cartes postales numériques.
Le visiteur peut ensuite contempler un mur d'images qui l'immerge dans les ambiances de l'eau du monde entier ou écouter musiques, poèmes, textes et bruits d'eau dans l'espace préservé de la Son'eau. La découverte virtuelle de l'eau est complétée par des ateliers d'expérimentation et la présentation d'objets liés à l'eau.
Dans le cadre des investissements d'avenir, il est prévu de créer un espace immersif et d'élaborer des « serious games » sur des thématiques environnementales. Ces réalisations seront mises au service de l'ensemble des acteurs lorrains de la culture scientifique qui collaborent au sein du réseau Hubert Curien.

Un rayonnement hors les murs

La Vigie de l'eau rayonne et développe ses activités hors de Vittel, à travers les réseaux d'échange et de diffusion à distance de la cyberthèque (visioconférences, visiochats, VOD...), mais aussi en organisant en Lorraine des débats dont une synthèse est systématiquement mise à la disposition des internautes. Le site web de l'association décrypte l'actualité de l'eau, comme, par exemple, le forum mondial de l'eau où la Vigie a envoyé des correspondants, et rapporte des interviews d'experts qui présentent leur éclairage.

Un lien fort avec la recherche

Les activités de l'association sont orientées et validées par un conseil scientifique composé de douze chercheurs, français et étrangers, sous la présidence de Marc Benoit, directeur de recherches à l'Inra. Les chercheurs s'investissent largement dans les diverses actions organisées. La Vigie contribue, avec le concours de l'Inra, à former des doctorants au dialogue avec le public et accueille des séminaires scientifiques. L'association est partie prenante du pôle de compétitivité HYDREOS dont elle a l'ambition d'être une vitrine vers le grand public. ●

Michelle Cussenot

+d'infos
www.lavigiedeleau.eu
contact :
contact@lavigiedeleau.eu

Des puces chez les poulets

© Inra / Christophe Maître

Première plateforme expérimentale sur les systèmes d'élevage de volailles de plein air en France, la plateforme avicole AlterAvi du Magneraud explore depuis 2009 les performances zootechniques, environnementales et sanitaires de systèmes d'élevage biologiques.

Plus de 6 000 poulets caquettent et picotent sur les deux hectares de prairies ou de chênaies de la plateforme avicole biologique du Magneraud. Une liberté sous étroite surveillance : chacun de leur déplacement depuis leur bâtiment jusqu'au parcours en plein air, est minutieusement enregistré, *via* une puce RFID fixée sur leur aile. Cette technologie émet des ondes radios toutes les dix secondes, localisant le poulet sur le parcours. Ce suivi électronique individuel est développé depuis deux ans sur le site du Magneraud : « *nous avons créé cette technologie en partenariat avec l'entreprise Pic Di. Elle produit une quantité de données complexes à analyser, mais le résultat est fiable à 98 %, sans doute plus que des observations de terrain ! C'est une démarche de recherche très innovante pour comprendre le comportement exploratoire de chaque individu et déterminer s'ils sont plutôt casaniers ou explorateurs* » explique Karine Germain, responsable de la plateforme AlterAvi.

A ces observations comportementales, s'ajoutent les données collectées par les vingt agents de l'unité expérimentale sur le poids de chacun, leur parasitisme, leur génétique, leur flore intestinale. Ils calculent les quantités de végétaux et de terre ingérées, analysent la qualité sensorielle de la viande et mesurent également l'impact de l'élevage biologique et du plein air sur l'environnement, les rejets dans l'atmosphère et le sol, l'évolution des pathogènes du sol… Disséminés entre les jachères apicoles et les parcelles d'essais de la station très rurale du Magneraud, trois laboratoires spécialisés en chimie, analyse sensorielle et biologie -qui s'intéresse notamment à la flore digestive-, appuient ces recherches avicoles. Depuis sa création



DES CARRÉS D'AILS, de fenugrec, de thym et de tanaisie sont répartis sur le parcours des volatiles pour étudier leurs effets prophylactiques.

© Inra / Christophe Maître

en 2009, les projets se succèdent pour améliorer la performance environnementale et zootechnique des systèmes d'élevage de plein air. Constituée de huit modules d'élevage comprenant chacun un bâtiment de 75 m² ouvert sur un parcours arboré ou en prairie, de 2 500 m², c'est la première plateforme expérimentale sur les systèmes d'élevage de volailles de plein air en France. Selon Karine Germain, « *la production de poulet de chair biologique est en progression : son cheptel a crû de 18 % entre 2009 et 2010 et les tendances de la consommation en biologique sont à la hausse, d'autant plus que les consommateurs rejettent de plus en plus l'élevage en claustration. Nos recherches accompagnent le travail de l'éleveur autour du bien-être animal et de l'impact environnemental* ».



© Inra / Christophe Maître

FIXÉE SUR L'AILE, la puce RFID suit individuellement le parcours du poulet.

Des comportements individuels

Contrairement aux traditionnelles recherches avicoles, les poulets sont étudiés ici individuellement, et non en lots. Grâce au procédé RFID, les chercheurs du projet AlterAviBio se sont aperçus que les poulets se distinguent par leur aptitude à explorer leur aire d'élevage. Les casaniers préfèrent séjourner dans le bâtiment tandis que les autres sillonnent leur parcours. Ces derniers, les explorateurs, qui grattent et mangent de la terre, captent plus de parasites. Les distinguer permettrait à l'éleveur de mieux cibler ses traitements. Sur le plan environnemental, plus les poulets sortent, plus les rejets (déjection, émissions gazeuses) sont importants, surtout à proximité du bâtiment. Une bonne gestion des parcours modifierait le comportement des poulets en les répartissant de manière plus homogène sur le terrain et améliorerait ainsi la durabilité de ce système d'élevage. Les chercheurs sont allés encore plus loin : en étudiant la filiation génétique des poulets casaniers et des explorateurs, ils ont réussi à lier leur comportement exploratoire à leur génétique. Ces recherches ouvrent des pistes à une sélection génétique plus fine pour les élevages de plein air.

Les poulets marchent à l'ombre

Les poulets explorent plus facilement des surfaces arborées que des parcours de prairie seule, sans ombre. « *Plus les poulets sortent, plus leur indice corporel diminue et moins il y a de gras. En les incitant à sortir, par des parcours plus arborés, on augmente les performances zootechniques des poulets. Le nombre de sorties et le type de parcours - arboré ou non - n'affectent cependant pas les qualités sensorielles de la viande, qui dépendent essentiellement de l'âge à l'abattage* » explique Karine Germain, « *mais cela peut ouvrir de nouvelles perspectives de valorisation pour l'éleveur dont les arbres plantés sur le parcours des poulets pourraient servir à une valorisation ultérieure (fruits, fixation de carbone, biodiversité...)* » L'unité teste également l'apport de plantes aromatiques sur le parcours pour lutter naturellement contre le parasitisme des poulets. Les chercheurs ont ainsi réparti régulièrement sur tout un parcours des petits carrés d'ail, de fenugrec, de thym et de tanaisie, herbes utilisées par des éleveurs de poulets biologiques en phytothérapie pour leurs effets vermifuge, anti-helminthique ou anti-coccidiose. Ils estiment l'appétence de ces végétaux, mesurent leur ingestion, étudient leur état sanitaire... Plus tard (les résultats sont attendus d'ici fin octobre) ils testeront la qualité sensorielle de la viande. Un poulet au bouquet déjà garni ? ●

Cécile Poulain

Des alternatives au soja

La plateforme met en place cette année une série d'essais dans le cadre du projet AviAlimBio pour trouver des formules alimentaires innovantes. La filière aviculture biologique doit en effet passer d'ici le 1er janvier 2015 à une alimentation 100 % d'origine biologique, mais la ration traditionnelle soja-maïs-blé est coûteuse pour la filière qui doit importer du soja bio à prix élevé. Il faut donc trouver d'autres sources de protéines produites localement pour remplacer ou diminuer l'incorporation de soja dans la ration. Des résultats sont attendus courant octobre.

L'épineuse question de l'âge à l'abattage

« *Nous mesurons l'impact en terme de performance sensorielle, sanitaire, économique et environnementale de quatre systèmes d'élevage de poulets biologiques élevés jusqu'à 56, 70, 84 et 100 jours. C'est une expérimentation d'actualité à l'heure où la filière bio française doit suivre les recommandations de Bruxelles et être compétitive, (projet Dynrurabio porté par l'ANR)* » explique Karine Germain. Depuis 2009, la directive européenne ne préconise plus d'âge minimum d'abattage pour les souches à croissance lente. Il est donc autorisé d'abattre en France des animaux dès 70 jours au lieu de 81 jours comme le précédent règlement français l'imposait. Dans le cas d'élevage de poulet issu de poussin bio - nous n'en n'avons pas en France -, l'âge d'abattage est réduit à 56 jours.

REPORTAGE

Renouveau de la recherche agronomique au Kazakhstan



COMME TOUT PAYS EN TRANSITION, le Kazakhstan est un pays de contrastes. A gauche : l'« Arbre de vie » symbolique de la tour Bayterek sur l'avenue principale d'Astana. A droite : arbre mort dans un institut de recherche abandonné dans les années 1990.

L'Inra, en tant qu'Institut public, aide le Kazakhstan à se doter d'un système de recherche agronomique autonome pour le renouveau de son agriculture.

Grande puissance agricole spécialisée dans le blé et le coton du temps de l'URSS, le Kazakhstan doit maintenant réinventer son agriculture. Un vrai challenge, qui passe par le développement de la recherche agronomique dans ce pays aux conditions climatiques difficiles. Sollicités, l'Inra et ses partenaires techniques apportent leur assistance depuis le printemps 2010. Le processus a débuté par la conception d'un centre de recherche moderne et intégré.

Un futur centre de recherche d'envergure internationale

L'AREC, pour « Agricultural research and education center », devrait voir le jour à 60 km au nord de la nouvelle capitale Astana, sur un terrain de 4 000 ha, à l'emplacement d'un institut de recherche en végétaux datant des années 1950. Une équipe de l'Inra, coordonnée par Guy Riba, s'est impliquée dans ce projet en étroite synergie avec l'excellente équipe locale de son homologue kazakhstanais : « KazAgroInnovation ».

Guy Riba (1) analyse : « *c'est un projet très original, qui me tient à cœur car il est emblématique de ce que l'Inra, relayé par Agreenium, pourrait et, à mon sens, devrait faire en RFDI (Recherche-Formation-Développement à l'International)* ».

L'aide apportée va de la définition des objectifs et des axes stratégiques jusqu'à la disposition des équipements dans les pièces. Comportant des laboratoires, des plateformes technologiques et des observatoires environnementaux, le centre a été conçu pour favoriser le travail collaboratif entre chercheurs, étudiants, entreprises agroalimentaires et agriculteurs, aidant ainsi à surmonter le cloisonnement de la recherche actuelle kazakhstanaise, à améliorer sa visibilité et à créer une masse critique.

Malgré la lourdeur bureaucratique, associée à une certaine fluctuation des idées politiques, inhérente à cette période de transition, la construction



MAQUETTE du futur centre. Bâtiments techniques et scientifiques, immeubles de logement, école et espaces de loisirs, tout est prévu pour offrir un cadre de travail et de vie agréables.

de l'AREC devrait démarrer prochainement. Une nouvelle commande se profile déjà pour la construction d'un deuxième centre analogue au sud du pays. Les deux centres constitueront ainsi le socle de la nouvelle recherche agronomique. Cette modernisation permettra en outre d'attirer les jeunes vers la recherche car ce sont eux qui assureront la durabilité du développement agricole du Kazakhstan.

Un pays à fort potentiel



Le Kazakhstan, pays quatre fois plus grand que la France et quatre fois moins peuplé, au climat aride, a su valoriser ses ressources énergétiques et intrigue les esprits occidentaux par son développement foudroyant et sa prise d'influence géopolitique. Devenue une grande puissance agricole de l'URSS dans les années 1950, le pays a vu sa production agricole décliner dans les années 1990, après la chute de l'Union soviétique. Il continue néanmoins à exporter son blé (8e exportateur mondial) et ambitionne d'exporter de la viande bovine vers la Russie. La recherche agraire kazakhstanaise conserve un savoir de terrain exceptionnel, avec des chercheurs formés dans les meilleures écoles de l'URSS, mais son organisation nécessite un renouveau en profondeur.

La stratégie du renouveau agronomique

Au-delà de la conception du centre, le projet concilie deux objectifs : utiliser des innovations importées pour amorcer le processus de progrès, et développer une capacité propre de recherche en lien étroit avec l'aval, afin d'assurer l'autonomie du secteur agroalimentaire du pays. Les céréales et les bovins sont apparus comme les axes majeurs de recherche, après analyse des priorités nationales, du contexte agroclimatique et des compétences locales. Pour ces deux thématiques, il s'agit de construire la chaîne de recherche allant du plus fondamental (génomique) au plus appliqué (production de semences et de reproducteurs). La mise en place de la sélection génomique des bovins, processus de longue haleine, a débuté l'année dernière grâce à l'appui des chercheurs de l'Inra de Jouy-en-Josas, des spécialistes de l'Institut de l'Elevage et de l'UNCEIA (2) et de Labogéna, qui assure le génotypage.

Parallèlement, « KazAgroInnovation », en tant qu'opérateur national de recherche, s'achemine vers une gouvernance moins administrative et plus scientifique. Guy Riba lui fait partager l'expérience de l'Inra et ses compétences de gestion de la recherche agronomique.







Missions enthousiastes

Les enjeux de cette collaboration sont de taille, les chercheurs de l'Inra impliqués en ont pris la mesure sur place. Sylvie Lortal (3), qui a participé à la conception d'une plateforme technologique pour la transformation des matières premières (blé, viande, lait...), en témoigne : « *le challenge était de mettre en synergie nos connaissances et le potentiel agricole et agroalimentaire de cet immense pays, qui a les moyens de ses ambitions* ».

Joël Guiard (4) a, quant à lui, effectué une mission pour évaluer et développer des variétés pour les principales espèces végétales cultivées dans ce pays. « *On ne peut pas transposer nos systèmes tels quels dans un contexte aussi différent, ce qui nous amène à en réaliser une analyse critique, tant au niveau organisationnel que réglementaire. Et ça, c'est très enrichissant pour nous* ». ●

Lidia Chavinskaia

Photos : ©Lidia Chavinskaia



(1) Vice-Président de l'Inra.

(2) UNCEIA : Union nationale des coopératives agricoles d'élevage et d'insémination animale.

(3) Directrice de recherches dans l'unité Science et technologie du lait et de l'œuf, de l'Inra de Rennes.

(4) Expert en réglementation des variétés et semences, responsable des Relations internationales OCVV UPOV au Geves, Groupe d'études et de contrôle des variétés et des semences.

REPORTAGE

Manger et s'éclairer



Au domaine de La Valette à Montpellier, une installation expérimentale associe des panneaux pho au sol. Les chercheurs ont pu mesurer et modéliser l'intérêt cumulé de la production d'énergie et d' «pilote» de plus grande ampleur verra le jour prochainement.

On sait que la photosynthèse des plantes a un faible rendement de conversion de l'énergie solaire (3 %), très inférieur à celui de panneaux photovoltaïques (15 %). Par contre, l'une produit l'aliment, essentiel à la vie, pendant que l'autre fournit de l'électricité. Les systèmes agrivoltaïques, imaginés par les chercheurs de l'unité mixte de recherche SYSTEM* en collaboration avec la société Sun'R, associent ces deux convertisseurs d'énergie solaire, l'un biologique et l'autre physique, sur une même surface. Ce nouveau concept permet de préserver l'usage des terres agricoles pour l'alimentation, tout en répondant aux besoins croissants de production d'énergie.

Le sol gagne en productivité

L'expérimentation consiste à évaluer les rendements de cultures sous des panneaux photovoltaïques, et à les comparer à ceux de cultures témoins sans cet ombrage particulier. L'installation a pour objet de comprendre si les deux productions peuvent être associées. Une centrale photovoltaïque de 8 500 m² a été construite en pergola sur le campus d'Agropolis à Montpellier. Deux

* Unité mixte de recherche SYSTEM «Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens» Cirad-Inra-SUPAGRO.

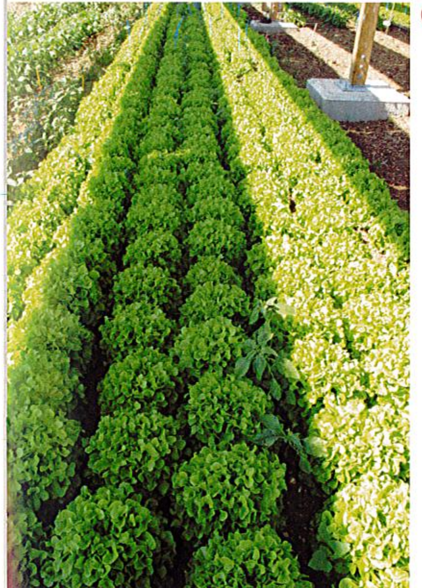


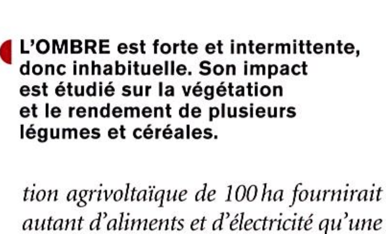
H. MARROU, EN THÈSE À MONTPELLIER, enregistre des mesures pour étudier la photosynthèse d'une culture de blé dans l'ombre des panneaux.



ltaïques placés en hauteur et une production agricole réalisée nts sur une même surface. L'essai est concluant et un dispositif

VUES DE LA « PERGOLA » de panneaux photovoltaïques, 4 m au-dessus des cultures (photo de gauche) et au sol (photo de droite). La zone de demi-densité de panneaux est située à l'arrière-plan.



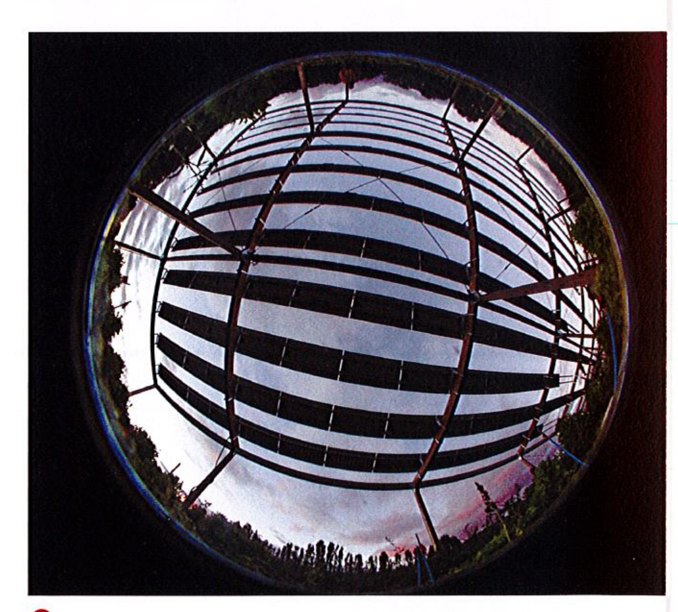


L'OMBRE est forte et intermittente, donc inhabituelle. Son impact est étudié sur la végétation et le rendement de plusieurs légumes et céréales.

variantes de densité de panneaux solaires ont été expérimentées : celle d'une centrale classique, et une demi-densité de panneaux laissant passer plus de lumière vers les cultures. Pour compléter l'approche, des modèles numériques ont testé d'autres variantes. « *Les premiers résultats sont très prometteurs*, indique Christian Dupraz, de l'UMR SYSTEM. *Ils font apparaître un gain de productivité totale du sol compris entre 35 et 75 % selon la densité de l'ombrage induit par les panneaux. Ce qui signifie qu'une exploitation agrivoltaïque de 100 ha fournirait autant d'aliments et d'électricité qu'une exploitation de 135 à 175 ha sur laquelle les deux productions existeraient séparément* ». Un pilote de 2 ha va être mis en place en 2013 pour mieux asseoir les hypothèses incluses dans le modèle numérique. De nouvelles possibilités doivent être explorées, notamment avec des panneaux photovoltaïques mobiles pour éclairer les plantes à certains stades physiologiques sensibles de leur développement.

Les dispositifs agrivoltaïques ont été imaginés à partir de l'expérience du laboratoire sur les systèmes agroforestiers, qui combinent arbres et cultures sur les mêmes parcelles. L'association permet de mieux valoriser les ressources du milieu (lumière, eau, nutriments), et de profiter de certaines interactions positives entre composantes. Dans les deux cas, les cultures, partiellement ombragées, pourraient aussi avoir une meilleure efficience d'utilisation de l'eau, ce qui est particulièrement recherché lorsque la ressource est limitée. ●

Brigitte Cauvin



DRÔLE DE CIEL, vu depuis le cœur de la salade ! Photo hémisphérique prise avec un objectif fish-eye permettant de calculer le rayonnement reçu au sol à différents moments de la journée et de l'année.

Photos © Christian Dupraz

+d'infos

références :

C. Dupraz, H. Marrou, G. Talbot, L. Dufour, A. Nogier, Y.Ferard. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimizing land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable Energy* 36 (2011) 2725-2732

contact :

Christian Dupraz, dupraz@supagro.inra.fr

en bref

Le lac du Bourget
Ses eaux et sa biologie
Gérard Balvay, Jean-Claude Druart, Stephan Jacquet

Ce livre est le troisième d'une série de monographies sur les lacs, après « le Léman » en 2007 et « le lac d'Annecy » en 2009. Hydrobiologistes, décideurs, enseignants, plongeurs… y trouveront les caractéristiques chimiques, physiques et biologiques du lac du Bourget, avec leur évolution sur quarante ans, et la vie qu'il abrite aujourd'hui.
Éditions Quæ, avril 2012, 184 p., 40 €

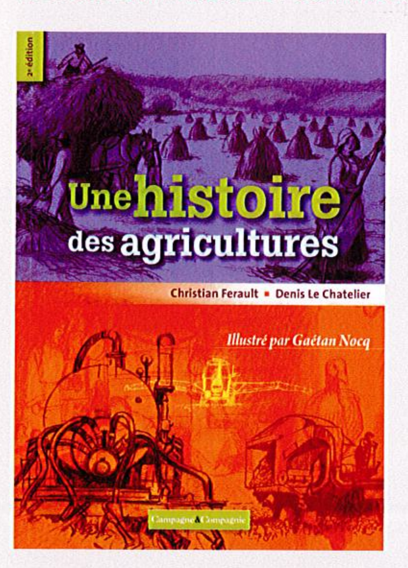
Nouveaux rapports à la nature dans les campagnes
Christian Férault, Nicole Mathieu, François Papy

Voici un ouvrage qui rompt avec les abondantes études rurales et les plus récents travaux de prospective. Il apporte une contribution nouvelle aux regards portés sur la campagne et sur les manières de l'habiter. Dix études de cas montrent les signes d'une véritable émergence d'une « éco-conscience » encore balbutiante.
Éditions Quæ, Collection Indisciplines, mai 2012, 192 p., 26 € (16,90 € en pdf)

L'ontophylogenèse
Évolution des espèces et développement de l'individu
Jean-Jacques Kupiec

Les données récentes de la biologie permettent à l'auteur de rassembler en un mot et une nouvelle théorie deux notions que la biologie a eu tendance à séparer : la phylogenèse qui concerne l'évolution des espèces et leur classification par la systématique ; l'ontogenèse qui se rapporte au développement de chaque individu, selon son espèce et avec son héritage parental.
Éditions Quæ, Collection Inra-Sciences en questions, mai 2012, 80 p., 8,50 € (5,50 € en pdf)

UNE HISTOIRE DES AGRICULTURES
Christian Férault, Denis Le Chatelier
EDITION CAMPAGNE ET COMPAGNIE, JUIN 2012, 192 P., 29 €



Le livre, dont c'est la deuxième édition, permet de balayer l'histoire et les différentes pratiques d'agriculture, depuis le néolithique jusqu'à nos jours. Pour comprendre l'activité agricole contemporaine, le lecteur découvrira comment les innovations, l'utilisation du vivant, le perfectionnement des outils et la mécanisation ont apporté des révolutions ou des crises dans la réalité du « produire l'aliment ». L'ambiance des chapitres, soutenue par des dessins qui illustrent le travail des champs dans sa technicité comme dans son humanité, montre pourquoi cette activité particulière se démarque de celle de l'industrie. A recommander pour « changer de culture ».

LE TOUT BIO EST-IL POSSIBLE ?
90 clés pour comprendre l'agriculture biologique
Bernard Le Buanec coord.
ÉDITIONS QUAE, COLLECTION CLÉS POUR COMPRENDRE, JUILLET 2012, 240 P. 23 € (14,90 € en pdf)



Le livre, rédigé par treize auteurs de l'Académie d'agriculture de France, s'appuie sur des données scientifiques, techniques et économiques pour apporter un éclairage sur cette agriculture labellisée, ses atouts et ses faiblesses. Alors que le concept reste flou pour une majorité des acheteurs de produits biologiques, le public trouvera dans ce fascicule la base de la compréhension des principaux enjeux de cette forme d'agriculture relancée par le Grenelle de l'Environnement en 2008, que ce soit en termes de nutrition, de santé, d'environnement, d'économie ou de recherche.



Élever et tuer des animaux

Sébastien Mouret



Partage du savoir — Le Monde — puf

ÉLEVER ET TUER DES ANIMAUX
Sébastien Mouret
PUF/LE MONDE - COLLECTION PARTAGE DU SAVOIR, FÉVRIER 2012, 224 P., 23 €

Lors de son travail avec les animaux d'élevage, l'homme entretient une relation riche, faite le plus souvent de respect et de gratitude, de violence parfois. L'auteur montre comment les conditions d'une « vie bonne » pour l'animal comme pour l'homme peuvent s'altérer lorsque le travail s'industrialise. Le lecteur est entraîné sur le terrain si particulier du « soin aux animaux » selon l'expression des professionnels, là où l'homme fait naître, élève, mais aussi donne la mort, source de difficultés morales. Cet ouvrage est tiré d'une thèse en sociologie menée au sein de l'Inra, publiée grâce au prix « Le Monde de la recherche universitaire ».

Comportements alimentaires

Choix des consommateurs et politiques nutritionnelles

Ouvrage collectif

Ce livre reprend les éléments du rapport final de l'Expertise scientifique collective rendue par l'Inra en 2010 : les évolutions et les pratiques de consommation, les déterminants de la prise alimentaire, le lien à la santé, les outils et les leviers des politiques nutritionnelles pour l'action publique.

Éditions Quæ, Collection Matière à débattre et décider, avril 2012, 104 p., 22 €

Production de canards

Heinz Pingel, Gérard Guy, Elisabeth Baéza

Le canard est élevé pour sa viande et ses œufs, de bonne valeur nutritionnelle, mais également pour ses plumes ou son foie. Le livre, dont l'un des auteurs est ingénieur à l'Inra, apporte les informations les plus récentes sur le sujet : espèces, génétique, biologie, anatomie… jusqu'à la santé de l'animal, son alimentation, la qualité de son habitat ou le matériel d'élevage.

Éditions Quæ, Collection Savoir faire, mai 2012, 252 p., 45 € (29,25 € en pdf)

La protection des indications géographiques - France, Europe, Inde

Delphine Marie-Vivien

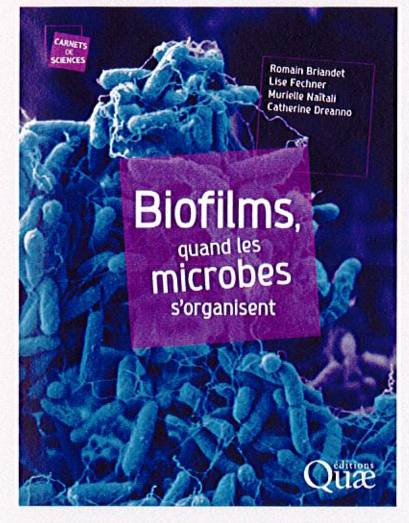
Ce livre, tiré d'une thèse de doctorat en droit, intéressera les praticiens et les décideurs aussi bien que le monde académique. Partant de l'expérience indienne et la comparant aux autres pratiques, il permet de mieux comprendre le rôle de l'Etat pour protéger les produits du patrimoine à l'aide des indications géographiques de provenance.

Éditions Quae, Collection Matière à débattre et décider, juin 2012, 240 p., 35 € (22,70 € en pdf)

éditions Quæ

www.quae.com

c/o
Inra - RD 10 -
F-78026
Versailles Cedex



BIOFILMS, QUAND LES MICROBES S'ORGANISENT

Romain Briandet, Lise Fechner, Murielle Naïtali, Catherine Dreanno

EDITIONS QUAE, COLLECTION CARNETS DE SCIENCES, AVRIL 2012, 176 P., 24 € (15,60 € en pdf)

L'ouvrage, abondamment illustré, plonge le lecteur dans l'infiniment petit des biofilms, ces agglomérats de micro-organismes aujourd'hui mieux connus grâce aux outils de la microscopie électronique et de la génétique. Visibles ou pas, répandus dans tous les milieux, sur nous et en nous, ils peuvent être bénéfiques, anodins ou dangereux. Les auteurs, scientifiques et enseignants, montrent par le croquis et la photo comment se construisent ces tapis et ces forteresses qui occupent l'eau douce, la mer, l'aliment, l'hôpital, l'usine agroalimentaire, la station d'épuration, la surface des fruits ou des fromages…



ODORAT ET GOÛT

De la neurobiologie des sens chimiques aux applications

Roland Salesse et Rémi Gervais coord.

EDITIONS QUAE, COLLECTION SYNTHÈSES, MAI 2012, 550 P., 50 €

Vingt ans après la découverte des récepteurs olfactifs, les auteurs font le point sur les apports de la biologie aux sciences du goût et de l'odorat. Ce livre, premier en langue française, invite à se pencher très sérieusement sur ces deux sens qui sont à la base des plus beaux fleurons de la culture et de l'industrie : l'alimentation et la parfumerie. Destiné à un large public allant du chercheur au publicitaire, il permet de découvrir pourquoi une photo fait saliver ou comment un parfum appelle des souvenirs.

LA VIANDE VOIT ROUGE

René Laporte, Pascal Mainsant

EDITION FAYARD, MAI 2012, 224 P., 14,50 €



Dès le titre, les auteurs, économistes de la filière bétail-viande, annoncent la couleur de leur argumentation. Après un rappel des courants de pensée et des jalons de la protection animale, ils développent point par point : l'homme est omnivore, la viande ne ruine pas sa santé, l'homme respecte l'animal, l'élevage ne détruit pas la planète, la consommation de viande n'affame pas les pays pauvres… Cet ouvrage, accessible à tous les publics, fait découvrir que la viande et le lait sont des produits indissociables ; ou encore qu'un chinois mange en moyenne dix fois plus de viande qu'un indien et consomme huit fois moins de lait. Avec une fiction en guise de conclusion : « et si l'élevage était interdit en 2020 ? » P. Mainsant était spécialiste de la filière « viande » à l'Inra.

REGARD

Marion Guillou et l'Inra, douze ans de vie commune


© Philippe Assalit

En réponse à un monde agricole en révolution, Marion Guillou s'est attachée, pendant ses douze années passées à la tête de l'Inra, à guider l'Institut vers une « science pour l'impact » de dimension internationale. Créant le tripode « agriculture, alimentation, environnement », comme nouvelle base de l'organisme, elle l'a modifié en profondeur pour conjuguer les valeurs de la recherche finalisée et l'ouvrir aux grandes problématiques mondiales.

Après ces années passées à la tête de l'Inra, comment avez-vous vu l'agriculture se transformer ?

Marion Guillou : Le monde agricole a, pendant la période 2000/2012, complètement changé de perspectives et de pratiques. Après avoir longtemps vécu à part, gérant son foncier, son assurance, sa banque et ses coopératives de transformation, il s'imbrique de plus en plus dans les problématiques sociétales. La recherche agronomique suit cette métamorphose, intégrant dans ses réflexions de nombreux autres domaines comme l'énergie, l'urbanisme, la démographie, la géographie… S'inscrivant désormais dans un contexte planétaire, l'Inra doit s'ancrer dans des valeurs scientifiques de la plus grande exigence tout en acceptant d'être interrogé par la société. Notre Institut s'est adapté en modifiant profondément son système d'organisation. Nous avons ainsi, au début de mon mandat, bâti le tripode « agriculture, alimentation, environnement », pour inclure les questions d'alimentation et d'environnement aux modalités de recherche en agronomie. Nous avons réformé les structures internes : Scientifiques, Territoriales et de Direction en 2004 et en 2006, puis, en 2010, négocié le contrat d'objectifs avec l'État pour internationaliser davantage l'Inra et mobiliser les équipes autour des enjeux du futur.

La pratique de la recherche a elle-même évolué en profondeur… ?

M. G. : Les changements de la pratique scientifique et de ses outils ont été un important déclencheur d'innovations pour notre Institut. Les sciences de la vie ne s'abordent plus comme à l'époque de Claude Bernard, ou de Louis Pasteur, de manière analytique ou seulement expérimentale. Nous sommes passés d'un mode de recherche « artisanal » à des recherches intégrant de nombreuses données : comme les communautés de physiciens, nous devons désormais maîtriser des plateformes instrumentales sophistiquées et lourdes (bio-informatique, génomique, protéomique…) et de nouveaux domaines de compétence. Cela change absolument tout dans nos approches, et dans nos capacités d'appréhension des systèmes.

Quelles thématiques de recherche avez-vous privilégiées au long de votre mandat ?

M. G. : Les moteurs d'évolutions pour un institut de recherche comme le nôtre sont nombreux et nous ques-

tionnent en permanence sur nos priorités. Il nous faut anticiper les grandes tendances du monde pour imaginer les nouveaux besoins en recherche. Alors qu'en 2002 le réchauffement était encore en débat au sein de la communauté scientifique, le collège de direction a soupçonné que cet enjeu bouleverserait nos questions de recherche. Nous avons construit une mission qui circulait auprès de l'ensemble des chefs de départements scientifiques pour déterminer en quoi la perspective du changement climatique devait modifier leurs objectifs de recherche. De même, en 2002, la conférence de Rio + 10 nous a conduits à passer en revue nos sujets et nos pratiques de recherche dans une optique de développement durable. Ces questionnements fondamentaux - que l'on aurait pu esquiver - ont bouleversé nos manières de chercher, comme nos objectifs de recherche.
Nous avons aussi créé en 2003 le département « Physiologie animale et systèmes d'élevage », avec la conviction que la biologie intégrative serait essentielle pour les années à venir et nécessiterait de changer le périmètre des communautés scientifiques. Cette même année, nous avons introduit l'écologie de manière plus approfondie dans nos démarches théoriques et créé le département « Écologie des forêts, prairies et milieux aquatiques ». Les recrutements et l'évaluation des compétences ont accompagné ces évolutions importantes.
Les regards critiques externes nous font également bouger. Tous nos travaux de recherche sont évalués par des comités internationaux qui nous ont incités à nous ouvrir à des enjeux de recherche plus vastes. Attaquer les grandes questions sociétales nécessitait d'aller au-delà de la seule juxtaposition des compétences scientifiques, intégrer plus encore les savoirs. C'est dans ce sens que nous avons décidé en 2010 de créer les « métaprogrammes », autour de thèmes comme la gestion intégrée de la santé des animaux, l'adaptation de la forêt au changement climatique, ou les comportements alimentaires.

Quel est selon vous l'avenir de la recherche à l'Inra ? Quel message transmettriez-vous à votre successeur ?

M. G. : S'il ne fallait retenir qu'un point clef pour l'Inra pour les années à venir, ce serait le nécessaire renouveau de l'agronomie. Nous devons faire converger une science situationnelle, une science de la pratique, « l'agronomie », avec une science des systèmes, « l'écologie ». Les systèmes agricoles subiront à l'avenir plus de contraintes, dans un contexte de plus en plus incertain. Cela nécessite de renouveler les théories et les pratiques, mais également les partenariats. Nous devons raccourcir les boucles entre découverte théorique et innovation. Les groupements d'intérêt scientifique (GIS) que nous avons mis en place permettront de proposer et de tester plus vite des systèmes agricoles innovants en liaison directe avec les professionnels de terrain et le développement agricole.

Tout au long de vos mandats, vous n'avez cessé de mettre en avant l'objectif de « recherche finalisée » de l'Inra. Qu'est-ce que cela implique pour les chercheurs ?

M. G. : Cette recherche « finalisée », que j'ai traduite dans le document d'orientation de 2010-2020 par « une science pour l'impact » est le cœur de notre métier. Le but de la recherche finalisée est de comprendre, pour pouvoir agir, dans un monde en constante évolution. Elle suppose un continuum entre la recherche académique et l'application : les métaprogrammes en sont un bon exemple. Cette recherche finalisée ne fonctionne ni ne s'évalue de la même manière qu'une recherche académique. Faire vivre cette pratique a supposé beaucoup de changements en interne, comme dans le système national de recherche et d'innovation.

Comment diriger un institut public de plus de 8 000 salariés pour l'adapter à ces évolutions ?

M. G. : Par le collectif ! L'intuition du besoin de changement vient d'une conviction collective, étudiée et débattue en collège de direction puis avec les scientifiques et le personnel de l'Institut. Le changement ne se conçoit pas seul et se met en œuvre avec les équipes concernées. Les méthodes pour conduire le changement sont ensuite assez classiques. Elles passent par la discussion, la concertation avec les organisations syndicales, puis la fixation d'un cap clair qui se décline à tous les niveaux.

Quelles sont les principales valeurs de l'organisme que vous avez défendues ?

M. G. : Les valeurs que j'ai privilégiées sont celles du service public, du dialogue et de l'équité. Ces valeurs irriguent les cinq missions principales de l'Inra : produire et diffuser des connaissances, concevoir des innovations et des savoir-faire, éclairer les décisions, contribuer à la culture scientifique et au débat science/société. En ce qui concerne nos choix de recherche, nous orientons les questionnements scientifiques vers les défis nouveaux posés par l'alimentation, l'environnement et la valorisation des territoires, de l'échelle locale à l'échelle planétaire.

Quelles touches personnelles avez-vous apportées à l'établissement ?

M. G. : Une conception coopérative du management, une attention aux personnes et à leur implication sans doute. J'ai proposé également à l'Institut une ouverture plus grande au monde. Ayant vécu à l'étranger et maîtrisant bien la langue anglaise, j'ai créé des perméabilités entre l'Inra et le monde extérieur.
Passionnée par les matières traitées, consciente de nos missions, je me suis beaucoup impliquée dans cette responsabilité pendant ces douze années. J'y ai pensé le matin, le midi, le soir, au travail et en vacances !

Que retiendra-t-on de vous ?

M. G. : J'espère avoir donné du sens, avoir conduit l'Inra vers une « science pour l'impact » exigeante et qui accepte d'être questionnée par le monde. ●

Propos recueillis par Cécile Poulain

AGENDA

30/31 octobre
ANGERS

Les agriculteurs innovants - Entretiens de l'agriculture écologiquement intensive
Cette 3e édition portera sur les regards croisés des agriculteurs et chercheurs sur des innovations développées à la ferme.
WWW.aei-asso.org/entretiens-aei.html

29 oct/1er nov
PUNTA DEL ESTE, URUGUAY

Second Global Conference on Agricultural Research for Development (GCARD II)
Thème de cette conférence : Prospective et partenariat pour l'innovation et impact sur les moyens de subsistance des petits exploitants.
WWW.egfar.org/gcard-2012/venue

15/16 novembre
PARIS

Cinquante ans après la publication par René Dumont de « L'Afrique noire est mal partie ». Quel bilan, quelles leçons, quels espoirs ?
Ce séminaire, portant sur l'avenir de l'agriculture de l'Afrique noire, est construit à partir du livre fondateur de René Dumont au lendemain de la décolonisation. Organisé par la Fondation René Dumont, AgroParisTech, le Cirad, l'AFD et RFI.
WWW.cirdis.uqam.ca/spip.php?article24

20/23 novembre
MONTPELLIER

Le panier repas de demain : une combinaison interactive entre analyses intégrées et connaissances spécialisées des aliments
Conférence annuelle de la Fédération européenne des sciences et technologies des aliments. L'objectif est d'établir des connections entre approches intégrées et spécialisées de l'alimentation au bénéfice de la santé, de la sécurité alimentaire et de la durabilité. Présidée par Nathalie Gontard, directrice de recherche à l'Inra.
WWW.effostconference.com/index.html

28/30 novembre
CLERMONT-FERRAND

Protéolyse cellulaire - Société française de biochimie et biologie moléculaire
6e colloque organisé par le CNRS, l'Inserm et l'Inra.
Au programme : Protéolyse mitochondriale et mitophagie-Inhibiteurs de protéases - Protéolyse et micro-environnement extracellulaire - Autophagie- Protéolyse et motilité cellulaire - Protéases et physiopathologies - Protéases et maladies génétiques - Mort cellulaire programmée.
WWW1.clermont.inra.fr/colloque-proteolyse2012/index.htm

4 décembre
FIAP PARIS

Journée CASDAR
Le GIS Relance agronomique organise cette journée de restitution des programmes CASDAR « Innovation et partenariat » 2007. Conduits sur 3 ans, ils ont pour objectif de produire des résultats opérationnels à destination des agriculteurs.
WWW.gis-relance-agronomique.fr

5/6 décembre
PARIS

19es Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants
Thèmes généraux des 3R 2012 : Alimentation - Economie - Environnement - Equipement et logement - Génétique - Qualité des produits - Reproduction - Santé - Sécurité des aliments - Systèmes d'élevage.
Organisées par l'Inra et l'Institut de l'élevage.
WWW.journees3r.fr

13/14 décembre
TOULOUSE

VIes Journées de recherches en sciences sociales
Journées Inra - SFER - Cirad. Rencontres annuelles des chercheurs francophones en sciences économiques, humaines et sociales, qui travaillent dans les domaines de l'agriculture, l'alimentation, l'environnement, les territoires, la pêche et les forêts.
WWW.sfer.asso.fr/

CIAG (www.inra.fr/ciag)

24 octobre
POITIERS

Ciag Agriculture : Associer productions animales et végétales pour des territoires agricoles performants

28 novembre
TOULOUSE

Ciag Alimentation - La maîtrise du risque sanitaire dans l'alimentation humaine



Biofilms 5

5th International Conference

10-12 décembre 2012 • Paris

Organisée par l'Inra et le réseau national Biofilms. Les biofilms résultent de l'adhésion et du développement de micro-organismes à la surface de matériaux solides. Résoudre les problèmes qu'ils entraînent dans les hôpitaux et les industries agroalimentaires et pharmaceutiques constitue un réel enjeu économique et sanitaire. Leurs propriétés biologiques aideront également à développer des procédés favorables à la protection de l'environnement.

https://colloque.inra.fr/**biofilm5**